

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Başak YILMAZ

**EVSEL ATIKSULARDAKİ KOİ, BOİ, TOK VE AKM
PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2018

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKSULARDAKİ KOİ, BOİ, TOK VE AKM PARAMETRELERİ
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

Başak YILMAZ

YÜKSEK LİSANS

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/....../2018 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
DANIŞMAN

Prof. Dr. Galip SEÇKİN
ÜYE

Prof. Dr. Ali ÜNYAYAR
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Bu çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EVSEL ATIKSULARDAKİ KOİ, BOİ, TOK VE AKM PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Başak YILMAZ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
Yıl: 2018, Sayfa: 101
Jüri : Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
: Prof. Dr. Galip SEÇKİN
: Prof. Dr. Ali ÜNYAYAR

BOİ, KOİ, TOK ve AKM parametreleri atıksu arıtma tesislerinin tasarımı, işletilmesi ve buna bağlı olarak atıksu deşarj kriterleri açısından oldukça önemlidir. Organik içeriğin belirlenmesinde bu kontrol parametrelerinin tümü kullanılmaktadır. BOİ analizi beş gün, KOİ analizi yaklaşık 3 saat, TOK analizi ise yaklaşık 1 saat sürmektedir. BOİ analizinin 5 gün sürmesi, KOİ analizinin tehlikeli atıklar ortaya çıkarması bu iki parametre için dezavantajdır. Bunlara karşı TOK analizi KOİ'ye nazaran az miktarda tehlikeli atık çıkarırken, BOİ'ye nazaran kısa süreli sonuç vermektedir. Bu bilgilerin ışığında bu çalışmada Adana ham evsel atıksuyunun KOİ, BOİ, TOK ve AKM parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu parametreler arasında ilişki kurulduğu takdirde bir parametrenin analizi yapılarak diğer bir parametrenin analiz sonucu tahmin edilebilir. KOİ, FKOİ, BOİ, FBOİ, FTOK ve AKM analizleri yapılmıştır. Elde edilen değerlerle KOİ ile BOİ, KOİ ile AKM, BOİ ile AKM, FKOİ ile FBOİ, FTOK ile FBOİ ve FTOK ile FKOİ arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda hesaplanan korelasyon katsayıları (r) sırasıyla; 0.75, 0.74, 0.41, 0.63, 0.41, 0.62 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Evsel atıksu, Atıksu analizi, KOİ, BOİ, AKM, TOK, Regresyon, İlişki, Öngörme

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN COD, BOD, TOC AND TSS PARAMETERS IN DOMESTIC WASTEWATERS

Başak YILMAZ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
Year: 2018, Pages: 101
Jury : Prof. Dr. Ahmet YÜCEER
: Prof. Dr. Galip SEÇKİN
: Prof. Dr. Ali ÜNYAYAR

BOD, COD, TOC and TSS parameters are very important in terms of design, operation of wastewater treatment plants and accordingly wastewater discharge criteria. All of these control parameters are used in defining organic content. BOD analysis takes five days, COD analysis takes about 3 hours, and TOC analysis takes about 1 hour. The 5 day duration of the BOD analysis is a disadvantage for these two parameters that the COD analysis yields hazardous wastes. In contrast to these, TOC analysis yields short-term results compared to BOD, while producing less hazardous waste than COD. In the light of this information, the relationship between the parameters of COD, BOD, TOC and TSS of Adana raw domestic wastewater is examined in this study. If a relation between these parameters is established, another parameter can be estimated by analyzing a parameter. COD, SCOD, BOD, SBOD, STOC and TSS analyzes were done. With the obtained values, regression analyzes were performed between COD with BOD, COD with TSS, BOD with TSS, SCOD with SBOD, STOC with SBOD and STOC with SCOD. Correlation coefficients (r) calculated as a result of regression analyzes are as follows; 0.75, 0.74, 0.41, 0.63, 0.41, 0.62.

Keyword: Domestic wastewater, Wastewater analysis, COD, BOD, TSS, TOC, Regression, Relationship, Prediction

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan çeşitli atıkların oluşumu kaçınılmazdır. Bu atıkların önemli bir parçası atıksu olarak sonlanmaktadır. Atıksuyun miktarı ve kalitesi birçok faktör tarafından belirlenir. Tüm endüstriler ve insanlar aynı miktarda atık üretmezler. Hanelerde üretilen atığın çeşidini ve miktarını; insanların davranış, yaşam tarzı ve yaşam standartları etkiler. Kirlilik miktarı kişi başına günlük su kullanımına bağlı olarak değişmektedir. Atıksu karakteristikleri sadece şehirden şehire değil, ele alınan her bir yerleşim birimi için mevsimden mevsime, hatta saatten saate bile değişkenlik gösterir. Atıksudaki bileşenlerin katkısı atıksuda önemli farklılıklar oluşturmaktadır. Bu bileşenler ana hatlarına ayrılmaktadır. Bunlar; mikroorganizmalar, biyolojik olarak parçalanan organik maddeler, diğer organik maddeler, besinler, metaller, diğer inorganik maddeler, termal etkiler, koku-tat ve radyoaktivite'dir. Atıksulardaki kirliliğin önemli miktarı organik maddeden kaynaklanmaktadır (Henze ve ark, 2008).

Organik kirleticiler; sularda çözünmüş olan oksijenin azalmasına neden olarak, kirlenmeye sebep olan maddelerdir. Böyle maddeler antropojenik faaliyetler sonucunda sulara karışırlar. Evsel atıksulardaki organik bileşenler, birçok farklı karbon kaynağının karışımından oluşmaktadır. Bu evsel atıksuların organik içeriğinin tespiti için yapılan analizler genellikle spesifik değildir (Benefield ve ark, 1980). Atıksulardaki organik maddenin belirlenmesinde KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), BOİ (biyokimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon) ve AKM (askıda katı madde) analizleri yaygın olarak kullanılan dört kontrol parametresidir.

Atıksu ve yüzey sularındaki organik kirlenmenin en yaygın göstergesi BOİ parametresidir. BOİ analizinde, organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonunda mikroorganizmaların kullandığı çözünmüş oksijen miktarı ölçülmektedir. Ancak BOİ analizinin yaygın kullanımına karşın, birçok kısıtlaması da vardır (Metcalf ve Eddy, 1991). BOİ analizi yavaş ve külfetlidir (Henze ve ark, 2008; Abdalla ve ark,

2014). Organik maddelerin biyokimyasal oksidasyonu çok yavaş bir süreç olup, teorik olarak tamamlanması sonsuz zaman almaktadır. 20 günlük bir süre içinde oksidasyonun ,% 95 ila % 99'u tamamlanır, BOİ₅ testinde ise yani 5 günlük sürede % 60 ila % 70'i tamamlanır (Metcalf ve Eddy, 1991). Standart BOİ analizi 5 gün (BOİ₅ alır. Ancak alternatifler bazen kullanılabilir. Eğer hızlı ölçüm gerekliyse BOİ₁ eğer uygunluk gerekliyse BOİ₇ ana seçenektir. Biyolojik olarak parçalanabilir materyalin yaklaşık hepsinin ölçümü gerekirse, BOİ₂₅ kullanılır (Henze ve ark, 2008).

KOİ, atıksu ve tabii sulardaki organik madde içeriğini ölçmek üzere kullanılır. Bir su numunesinin asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyiciyle, oksitlenebilen organik madde miktarının oksijen eşdeğeri cinsinden ifadesidir. Bir su numunesine ait KOİ sonucu, BOİ₅'den farklı olarak, biyolojik yollarla ayrışmayan bazı maddeleri içerdiğinden, her zaman BOİ₅'den daha büyük değerler alır.

KOİ, su ve atıkların karakterizasyonunda önemli ve çabuk sonuç veren bir parametredir. Atıksu arıtma tesislerinin tasarımında, işletilmesinde, arıtma tesisi verimlilik hesaplarında sıkça kullanılır. Bunun yanında su ve atıksuların deşarjında, bir deşarj ölçütü olarak hemen hemen tüm sektörler için önemli bir parametredir. Birçok atık tipi için KOİ ve BOİ₅'yi ilişkilendirmek çok faydalı olabilir. Çünkü BOİ₅ ile mukayese edildiğinde KOİ sadece 3 saatte tespit edilmektedir. BOİ₅ ile KOİ arasında bir ilişki kurulduğunda her iki parametre de oldukça önemli olduğundan bu ilişki arıtma tesisinin kontrol ve işletilmesinde çok yararlı olacaktır (Metcalf ve Eddy, 1991)

TOK, atıksulardaki organik kirlenmeyi gösteren önemli parametrelerden biridir. TOK analizinde sudaki organik maddeler katalitik olarak yüksek sıcaklıklarda yakılarak CO₂ haline getirilir. Açığa çıkan CO₂ detektörler ile ölçülerek numunedeki toplam organik karbon miktarı belirlenir. Bugünün kurallarını takiben ve enstrümantasyon ile organik maddenin yapısı ve doğası hakkında herhangi bir bilgi olmaksızın, sulardaki organik karbon atomlarının

varlığı, dolaylı olarak toplam organik karbon ile ölçülür. Bütün ülkelerde, TOK' un analizi; endüstriyel ve evsel atıksuların kontrolü için en uygun gösterge olarak bilinmektedir (Visco ve ark, 2005). TOK analizinin sonuçlanması, KOİ analizine ve özellikle de BOİ analizine göre çok daha kısa sürede gerçekleştirilebilmektedir ve giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. KOİ/TOK oranı yaklaşık 3 civarındadır (Metcalf ve Eddy, 1991; Hodzic, 2011). BOİ₅/TOK oranı 1,31-1,88 arasındadır (Benefield ve ark, 1980).

AKM, kullanılan atıksu numunesinin filtre üzerinde kalan maddelerinin kurutulup tartılmasıyla ölçülür. Askıda katı maddeler genellikle %80'den fazla uçucu madde içerirler (Metcalf ve Eddy, 1991; Yüceer, 1980). Evsel atıksuların kirlilik derecesini ve arıtma verimini belirlemede önemli bir parametredir.

BOİ, KOİ, TOK ve AKM parametreleri, atıksu analizleri, arıtma tesislerinin tasarımı, işletilmesi ve buna bağlı olarak atıksu deşarj standartları açısından oldukça önemlidir. Farklı kaynaklarda bu ana kontrol parametreleri arasındaki teorik oranlar mevcuttur. Organik içeriğin belirlenmesinde bu kontrol parametrelerin tümü kullanılmaktadır (El Gawad ve ark, 2011; Lee ve ark, 2016). Bu durum hem zaman hem de mali kayıplara sebep olmaktadır. Bu yüzden bu parametreler arasında bir ilişki kurmak oldukça önem arz etmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada, evsel atıksularda KOİ, BOİ, TOK ve AKM parametreleri arasındaki ilişkiler incelenip, aralarındaki ilişkinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

Sonuçta elde edilen değerlerle KOİ ile BOİ, KOİ ile AKM, BOİ ile AKM, FKOİ ile FBOİ, FTOK ile FBOİ ve FTOK ile FKOİ arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizleri sonucunda hesaplanan korelasyon katsayıları (r) sırasıyla; 0.75, 0.74, 0.41, 0.63, 0.41, 0.62 olarak tespit edilmiştir.



TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince beni engin bilgi ve tecrübeleriyle aydınlatan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ahmet YÜCEER'e, çalışmam boyunca bana gösterdiği sabır ve ilgiden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, bana zaman ayırıp değerli bilgilerini benimle paylaşan Sayın Prof. Dr. Galip SEÇKİN, Sayın Dr. Turan YILMAZ ve Sayın Dr. Demet KALAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada materyal olarak kullanılan evsel atıksu numunelerinin teminini ve Çevre Mühendisliği laboratuvarına getirilmesini sağlayan Kimyager ve Çevre Mühendisi Tolga YILMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın istatistiksel kısımları için bana zaman ayırıp, bilgilerini benimle paylaşan Arş.Gör. Melis ÇELİK GÜNEY'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca benden yardımını esirgemeyen Dr. Fatma Elçin ERKURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca yanımda olan ve maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen, babam Enver YILMAZ ve annem Filiz YILMAZ'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Çevre Mühendisliği ve Atıksu	1
1.2. Evsel Atıksu	1
1.2.1. Evsel Atıksuların Özellikleri	5
1.2.1.1. Evsel Atıksuların Fiziksel Özellikleri	6
1.2.1.2. Evsel Atıksuların Kimyasal Özellikleri.....	7
1.2.1.3. Evsel Atıksuların Biyolojik Özellikleri.....	12
1.3. Evsel Atıksuların Çevreye Etkileri.....	13
1.4. Atıksuların Arıtılması.....	18
1.4.1. Mekanik Arıtma	20
1.4.2. Kimyasal Arıtma	21
1.4.3. Biyolojik Arıtma	22
1.4.3.1. Aerobik Arıtma.....	22
1.4.3.1.(1). Aktif Çamur Sistemleri	23
1.4.3.1.(2). Mekanik Havalandırma Havuzları (Havalandırma	
lagünler)	24
1.4.3.1.(3). Stabilizasyon Havuzları	24
1.4.3.1.(4). Damlatmalı Filtreler	24
1.4.3.1.(5). Biyodiskler	25

1.4.3.2. Anaerobik Arıtma	25
1.4.3.3. Fakültatif Arıtma.....	25
1.5. Atıksu Arıtma Tesislerinin Dizaynı.....	26
1.5.1. Nüfus Tahminleri.....	26
1.5.2. Atıksu Miktar ve Özellikleri	26
1.5.2.1. Debi	26
1.5.2.2. Evsel Atıksu Bileşimi.....	26
1.5.3. Evsel Atıksu Analizi ve Karakterizasyonu	29
1.5.3.1. Askıda Katı Madde.....	29
1.5.3.2. Organik Madde.....	29
1.5.3.3. Azot	34
1.5.3.4. Fosfor.....	35
1.5.3.5. Alkanite	35
1.5.3.6. Çamur Hacim İndeksi (SVI).....	35
1.5.3.7. Oksijen Tüketim Hızı	36
1.6. Dizayn ve İşletme Parametreleri Arasındaki İlişkiler	36
1.6.1. KOİ, BOİ ₅ TOK ve AKM Arasındaki İlişkiler.....	37
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	43
3. MATERYAL VE METOD	57
3.1. Materyal.....	57
3.1.1. Ham Evsel Atıksu	57
3.1.2. Filtre Edilmiş Evsel Atıksu.....	57
3.2. Metod.....	57
3.2.1. Analitik Yöntemler	57
3.2.2. İstatistiksel Yöntemler	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1. Giriş	61
4.2. Araştırma Bulguları	63
4.3. Analiz Sonuçlarının Tartışılması	65

4.3.1. BOİ ₅ İle KOİ Arasındaki İlişki	68
4.3.1.1. FBOİ ₅ İle FKOİ Arasındaki İlişki.....	75
4.3.2. AKM ile KOİ Arasındaki İlişki.....	77
4.3.3. AKM İle BOİ ₅ Arasındaki İlişki	84
4.3.4. FKOİ İle FTOK Arasındaki İlişki	87
4.3.5. FBOİ ₅ İle FTOK Arasındaki İlişki.....	89
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	91
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	101



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Ham Evsel Atıksu Özellikleri	3
Çizelge 1.2. Evsel Atıksuyun Tipik Kompozisyonu	4
Çizelge 1.3. Tipik Bir Evsel Atıksuyun, Arıtmanın Çeşitli Safhalarındaki Özellikleri	5
Çizelge 1.4. Atıksuyun Sorun Yaratıcı Bileşenleri	17
Çizelge 1.5. Kirlenici Parametreler Arasında Tipik Oranlar.....	27
Çizelge 1.6. Çeşitli Ülkelerde Kişi Başına Düşen Kirlilik Yükleri	28
Çizelge 1.7. Atıksularda Organik Maddelerin Analizleri ve Aralarındaki İlişki ..	30
Çizelge 1.8. KOİ, BOİ ve TOK Analizlerinin Kıyaslanması.....	40
Çizelge 1.9. Belirli Evsel Atıksuların Organik Karbon ve Oksijen İhtiyacı	42
Çizelge 2.1. Atıksu Arıtma Tesislerine Ait Regresyon Denklemleri.....	45
Çizelge 2.2. Parametreler Arasındaki İlişkiler	47
Çizelge 3.1. İki uçlu bir test için kritik Q değerleri ($p = 0.05$).....	59
Çizelge 4.1. Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Edilecek Atıksuların Sağlaması Gereken Sınır Değerler	62
Çizelge 4.2. Adana Evsel Ham Atıksuyun Özellikleri.....	63
Çizelge 4.3. Parametreler Arası Oranlar	64
Çizelge 4.4. Regresyon Analizi Sonuçları	65
Çizelge 4.5. Ham Evsel Atıksuyun KOİ, BOİ ₅ ve AKM Konsantrasyonları.....	65
Çizelge 4.6. Az Miktarda Endüstriyel Atıksu Karışmış Ham Evsel Atıksuların Tipik Bileşimi	66
Çizelge 4.7. Türkiye’deki İl ve İlçelere Ait Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Ortalama KOİ, BOİ ₅ ve AKM Değerleri	67
Çizelge 4.8. Ham Atıksu İçin BOİ ₅ /KOİ oranları	68
Çizelge 4.9. Ulusal ve Uluslararası KOİ/ BOİ ₅ ve BOİ ₅ /KOİ Oranları	69

Çizelge 4.10. Sentetik Atıksuya ait KOİ ve BOİ ₅ Değerleri ve BOİ ₅ /KOİ Oranları.....	72
Çizelge 4.11. Filtre Atıksu İçin FBOİ ₅ /FKOİ Oranları.....	76
Çizelge 4.12. Ham Atıksu İçin AKM/KOİ Oranları.....	78
Çizelge 4.13. Ülkemizde İl ve İlçelere Ait AKM/KOİ Oranları.....	79
Çizelge 4.14. Adana Evsel Atıksuyuna Ait KOİ, FKOİ, AKM Değerleri ve AKM Kaynaklı KOİ Yüzdeleri.....	81
Çizelge 4.15. Ham Atıksu İçin AKM/BOİ ₅ Oranları.....	84
Çizelge 4.16. Ülkemizde İl ve İlçelere Ait AKM/BOİ ₅ Oranları.....	85
Çizelge 4.17. Filtre Atıksu İçin FKOİ/FTOK Oranları.....	87
Çizelge 4.18. Filtre Atıksu İçin FBOİ ₅ /FTOK Oranları.....	89

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Evsel Atıksu Kompozisyonu .	5
Şekil 1.2. Toplam Katıların Sınıflandırılması.	7
Şekil 1.3. Sudaki Karbonların Sınıflandırılması.	9
Şekil 1.4. Su Yollarına Salınan Organik Madde ve Besin Maddelerinin Etkileri...	14
Şekil 1.5. Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Akım Şeması	19
Şekil 4.1. KOİ ve BOİ ₅ Konsantrasyonlarının Değişimi	70
Şekil 4.2. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin BOİ ₅ ve KOİ Parametreleri Arasındaki İlişki	73
Şekil 4.3. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin FBOİ ₅ ve FKOİ Parametreleri Arasındaki İlişki	77
Şekil 4.4. KOİ, FKOİ ve AKM Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi	82
Şekil 4.5. Adana Evsel Atıksuyu İçin KOİ, FKOİ ve AKM Konsantrasyonlarının Değişimi	82
Şekil 4.6. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin KOİ ve AKM Parametreleri Arasındaki İlişki	83
Şekil 4.7. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin BOİ ₅ ve AKM Parametreleri Arasındaki	86
Şekil 4.8. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin FKOİ ve FTOK Parametreleri Arasındaki İlişki	88
Şekil 4.9. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin FBOİ ₅ ve FTOK Parametreleri Arasındaki İlişki	90



SİMGELER VE KISALTMALAR

AKM	: Askıda Katı Madde
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
TOK	: Toplam Organik Karbon
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ ₁	: 1 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ ₅	: 5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ ₇	: 7 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ ₂₅	: 25 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
FKOİ	: Çözünmüş (Filtre) Kimyasal Oksijen İhtiyacı
FTOK	: Çözünmüş (Filtre) Toplam Organik Madde
FBOİ ₅	: Çözünmüş (Filtre) Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
TOİ	: Toplam Oksijen İhtiyacı



1. GİRİŞ

1.1. Çevre Mühendisliği ve Atıksu

Su, tüm canlılar için hayati bir öneme sahiptir. Evsel kullanımdan tarımsal sulamaya, hidroelektrik santrallerinden endüstriyel faaliyetlere kadar hayatımızın her alanında kullanılmaktadır. Suyun diğer bir önemi ise atıkların taşınmasında bir araç oluşudur (Vesilind ve ark, 2014).

Çevre mühendisleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulmuş kanun ve yönetmelikler çerçevesinde, çevreyi ve çevrenin tüm paydaşlarını tehdit edecek bir durumun oluşmasına mahal vermemek adına, üretim ve tüketim sonucu oluşmuş atıksuları arıtıp, alıcı ortamlara verilmesini sağlamaktadır. Bu sayede çevre mühendisleri, çevre ve halk sağlığını korumuş olmaktadır. Çevre mühendislerinin en önemli görevlerinden biri olan atıksuların arıtılması hususundaki görev tanımları, bu şekilde özetlenebilir.

İnsani faaliyetler veya endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıklar, su ile birleşerek atıksuyu meydana getirmektedir. Atıksu, faaliyetin çeşidine göre nitelendirilmekte olup, evsel ve endüstriyel atıksu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde atıksuyun tanımı şu şekilde yapılmıştır: Evsel, endüstriyel, tarımsal ve diğer kullanımlar sonucunda kirlenmiş veya özellikleri kısmen veya tamamen değişmiş sular ile maden ocakları ve cevher hazırlama tesislerinden kaynaklanan sular ve yapılaşmış kaplamalı ve kaplamasız şehir bölgelerinden cadde, otopark ve benzeri alanlardan yağışların yüzey veya yüzeyaltı akışa dönüşmesi sonucunda gelen sulara atıksu denir. Meydana gelmiş olan bu atıksu, kanalizasyon sistemleri ile arıtma tesislerine iletilmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2004).

1.2. Evsel Atıksu

Evsel atıksu, genellikle evlerin, okulların, lokantaların, kuaförlerin, alışveriş merkezlerinin, hastanelerin kısaca insanın içinde bulunduğu, günlük

aktivitelerini yerine getirdiği her türlü mekanın banyo, tuvalet ve mutfaklarından çıkan atıksulardır. Kentsel atıksu arıtma yönetmeliğinde evsel atıksuyun tanımı şu şekilde yapılmıştır: Yaygın olarak yerleşim bölgelerinden ve çoğunlukla evsel faaliyetler ile insanların günlük yaşam faaliyetlerinin yer aldığı okul, hastane, otel gibi hizmet sektörlerinden kaynaklanan atıksulara evsel atıksu denir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2006).

Atıksuyun içeriği, suyun kullanılmadan önceki haline ve suyun kullanılma amacına göre değişmektedir. Atıksuyun içeriği, iklim, yaşam standardına, kültüre, şehre hatta baz alınan şehir için saatten saate bile değişim göstermektedir. Evsel atıksular kirlilik yüklerine göre zayıf, orta ve kuvvetli karakterli olarak sınıflandırılmaktadır. Çizelge 1.2.'de evsel atıksuyun kirlilik yüküne yani kirleticinin konsantrasyonuna bağlı olarak sınıflandırılması gösterilmektedir. Evsel atıksular, askıda, koloidal ve çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. Atıksular, karbon, azot, fosfor gibi organik besin elementlerinden ve mikroorganizmalardan meydana gelmektedir. Evsel atıksuyun kompozisyonu Şekil 1.1.' de verilmiştir. Çizelge 1.1.' de kirleticilerin g/kişi-gün cinsinden atıksularda bulunma değerleri gösterilmektedir. Çizelge 1.3' de ise tipik bir atıksuyun ham ve arıtmanın çeşitli safhalarındaki özellikleri gösterilmektedir. Atıksuda bu bahsedilen içeriğinden dolayı, arıtma tesisine kanalizasyonlar yardımı ile iletilirken, zaman içinde biyolojik bozunmalar meydana gelir ve atıksuyun bazı özellikleri değişir. Evsel atıksuyun değişimine sebep olan diğer iki faktör ise; endüstriyel atıksuyun, evsel atıksuyun taşındığı kanalizasyon sistemine bırakılması ve yağmur sularının kanalizasyon sistemine sızmasıdır. Her ne kadar yağışların atıksuyu seyrelteceği düşünülse de bazen mevsimsel olarak beklenmedik ve aşırı miktardaki yağışlar suyun özelliğini düşünülenin aksine değiştirebilmektedir. Bu durum, kanalizasyon sisteminin durumundan yani eski oluşundan, kanalizasyon borularının üst seviyelerindeki kurumuş atıkların ani bir şekilde artan debiden dolayı atıksuya karışıp kirlilik yükünü arttırmasından yahut yağmurun yağmasıyla yollardan gelen

asfalt parçalarının kanalizasyonda atıksuyla karışmasından kaynaklanabilir (Arceivala, 1998; Kabak ve ark, 2002).

Çizelge 1.1. Ham Evsel Atıksu Özellikleri (Arceivala, 1998).

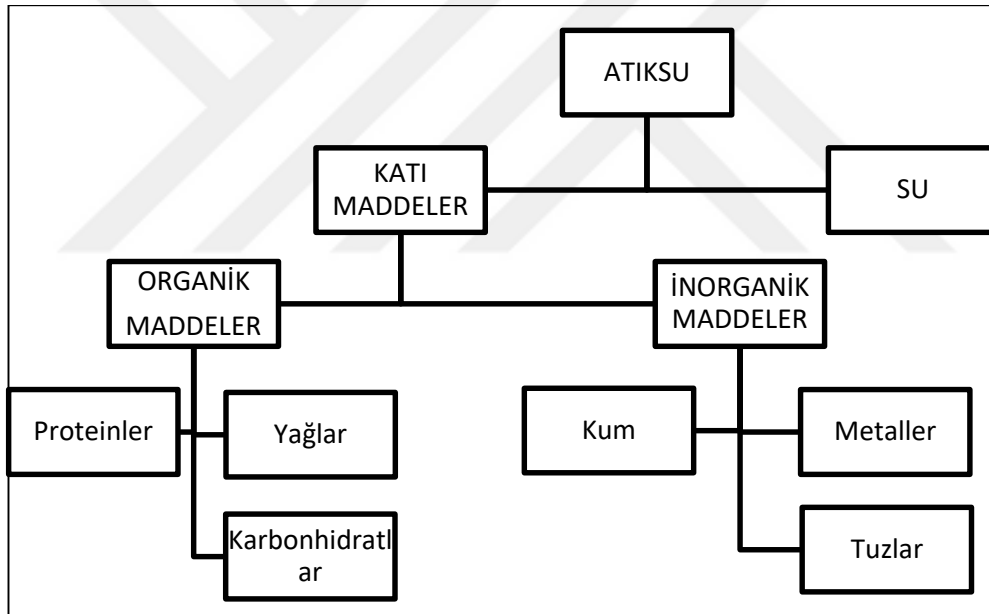
Madde	Atıklarda Değeri (g/kişi-gün)	Bulunma
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅)	45 – 54	
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	1.6 – 1.9 × BOİ ₅	
Toplam Organik Karbon (TOK)	0.6 – 1.0 × BOİ ₅	
Toplam Katı Maddeler	170 – 220	
Askıdaki Katı Maddeler	70 – 154	
Grit(inorganik, 0.2 mm ve yukarısı)	5 – 15	
Makine yağı	10 – 30	
Alkalinite(kalsiyum karbonat olarak, (CaCO ₃))	20 – 30	
Kloridler	4 – 8	
Toplam Azot, N	6 – 12	
Organik Azot	~0.4 × toplam N	
Serbest Amonyak	~0.6 × toplam N	
Nitrit	-	
Nitrat	~0.0 – 0.5 × toplam N	
Toplam Fosfor, P	0.6 – 4.5	
Organik Fosfor	~0.3 × toplam P	
İnorganik (ortho- ve polifosfatlar)	~0.7 × toplam P	
Potasyum (potasyum oksit olarak, (K ₂ O))	2.0 – 6.0	
Atıksuda Bulunan Mikroorganizmalar(100 ml atıksu içinde)		
Toplam Bakteri	10 ⁹ - 10 ¹⁰	
Koliformlar	10 ⁹ - 10 ¹⁰	
Faecal Streptococci	10 ⁵ - 10 ⁶	
Salmonella Typhosa	10 ¹ - 10 ⁴	
Protozoa Kistleri	10 ³ miktarına kadar	
Helminth Yumurtaları	10 ³ miktarına kadar	
Virüsler (plak oluşturan birimler)	10 ² - 10 ⁴	

Çizelge 1.2. Evsel Atıksuyun Tipik Kompozisyonu (Metcalf ve Eddy, 1991).

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katı	mg/L	350	720	1200
Toplam Çözünmüş Katı	mg/L	250	500	850
Sabit	mg/L	145	300	525
Uçucu	mg/L	105	200	325
Askıda Katı	mg/L	100	220	350
Sabit	mg/L	20	55	75
Uçucu	mg/L	80	165	275
Çökebilir Katı	mL/L	5	10	20
BOİ₅ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı)	mg/L	110	220	400
TOK(Toplam Organik Karbon)	mg/L	80	160	290
KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı)	mg/L	250	500	1000
Toplam Azot	mg/L	20	40	85
Organik Azot	mg/L	8	15	35
Serbest AmonyumAzotu	mg/L	12	25	50
Nitrit Azotu	mg/L	0	0	0
Nitrat Azotu	mg/L	0	0	0
Toplam Fosfor	mg/L	4	8	15
Organik	mg/L	1	3	5
İnorganik	mg/L	3	5	10
Klorürler	mg/L	30	50	100
Sülfat	mg/L	20	30	50
Alkanite	mg/L	50	100	200
Yağ- Gres	mg/L	50	100	150
Toplam Koliform	no/10 0 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Uçucu Organik Bileşikler	µg/l	<100	100-400	>400

Çizelge 1.3. Tipik Bir Evsel Atıksuyun, Arıtmanın Çeşitli Safhalarındaki Özellikleri (Tebbutt, 1998)

Özellik (mg/L)	Kaynak		
	Ham	Ön Çökeltim Çıkışı	Son Çökeltim Çıkışı
BOİ ₅	300	175	20
KÖİ	700	400	90
TOK	200	90	30
AKM	400	200	30
Amonyum Azotu	40	40	5
Nitrit Azotu	<1	<1	20



Şekil 1.1. Evsel Atıksu Kompozisyonu (Tebbutt, 1998).

1.2.1. Evsel Atıksuların Özellikleri

Atıksular fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine göre karakterize edilmektedir. Evsel atıksu arıtma tesisleri bu özelliklere göre dizayn edilip, işletilmektedir.

1.2.1.1. Evsel Atıksuların Fiziksel Özellikleri**Koku**

Evsel atıksuyun içerisindeki organik maddelerin ayrışmasından dolayı meydana gelen kendine has bir kokusu olup, bu koku koklayanı oldukça rahatsız etmektedir. Taze atık su kokusu, bayat atık su kokusundan daha az kötü kokar, ancak yine de ikisi de kötü kokular yayarlar. Kokular, çoğu zaman arıtma tesislerinin çevresindeki mahallelerden gelen şikayetlerin sebebidir (Sincero ve ark, 2002).

Renk

Evsel atıksuyun rengi, kirlilik yüküne ve kanalizasyondaki oksijen seviyesine bağlı olarak sarı, gri, siyah renklerinde yahut bunların ara tonlarında olabilmektedir. Taze atıksu gri renkte olurken septik atıksu siyah renktedir. Bitki örtüsünden ve inorganik maddelerden bozulan malzemeler suya renk verir. Ayrıca evsel atıksuların endüstriyel atıksuların karışması da renk değişimlerine uğradığı görülmektedir (Sincero ve ark, 2002; Davis, 2015; Metcalf ve Eddy, 1991).

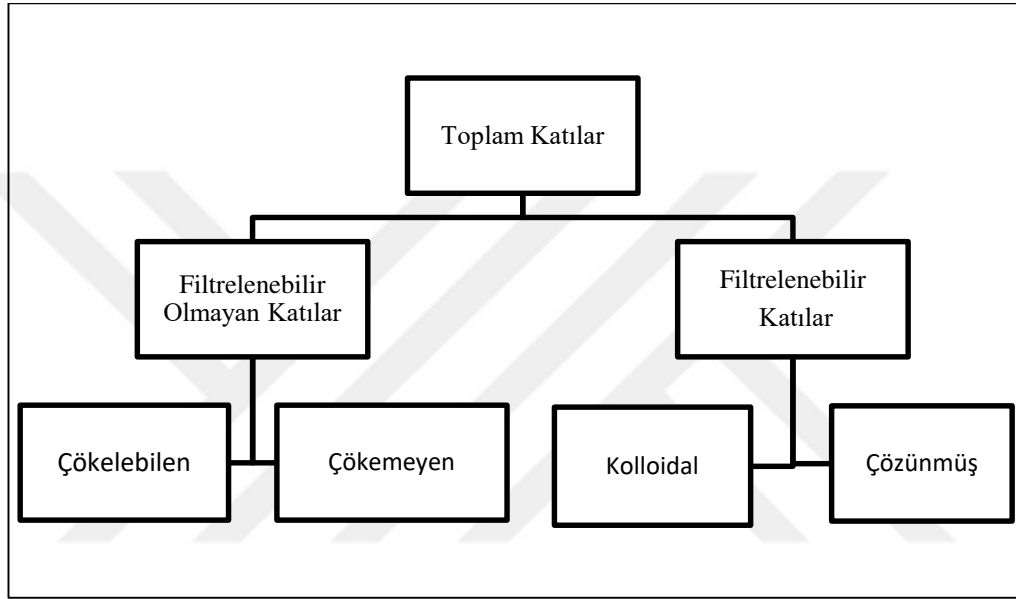
Sıcaklık

Evsel atıksuların sıcaklığı, evsel ve endüstriyel faaliyetlerden gelen sıcak suların içme sularına karışması nedeniyle içme sularının sıcaklığından daha yüksektir. Atıksu sıcaklıkları normal olarak 10-20°C arasındadır. Suyun sıcaklığı kimyasal reaksiyonları ve reaksiyon hızları, sucul hayatı ve suyun faydalı kullanılabilirliğini etkilediği için önemli bir parametredir (Metcalf ve Eddy, 1991; Davis, 2015).

Toplam Katı Madde

Katı madde içeriği, mutfak lavabosundan gelen sebze parçaları, bakliyat taneleri, ekmek kırıntıları, tavuk, balık ve yumurta gibi sofr artıkları ile banyodan

gelen tuvalet kağıdı ve insan atıklarından oluşmaktadır. Ayrıca eğer kanalizasyon sistemi birleşik ve eski ise bu katılara, akış sebebiyle aşınmış topraklarda dahil edilebilmektedir. Aşağıdaki Şekil 1.2.'de toplam katıların sınıflandırılması gösterilmektedir (Sincero ve ark, 2002).



Şekil 1.2. Toplam Katıların Sınıflandırılması (Sincero ve ark, 2002).

Toplam katı madde içeriği atıksu numunesinden, su 103-105 °C' de buharlaştırıldıktan sonra geriye kalan maddedir. Toplam katılar filtrelenebilir ve filtrelenebilir olmayan olarak sınıflandırılır. Filtre edilebilen kısım, filtreden geçen kolloidal parçacıkları ve çözünmüş katıları içerir. Filtre edilemeyen kısım ise, filtreden geçmeyen çökelebilen ve çökemeyen fraksiyonları içerir (Sincero ve ark, 2002).

1.2.1.2. Evsel Atıksuların Kimyasal Özellikleri

pH

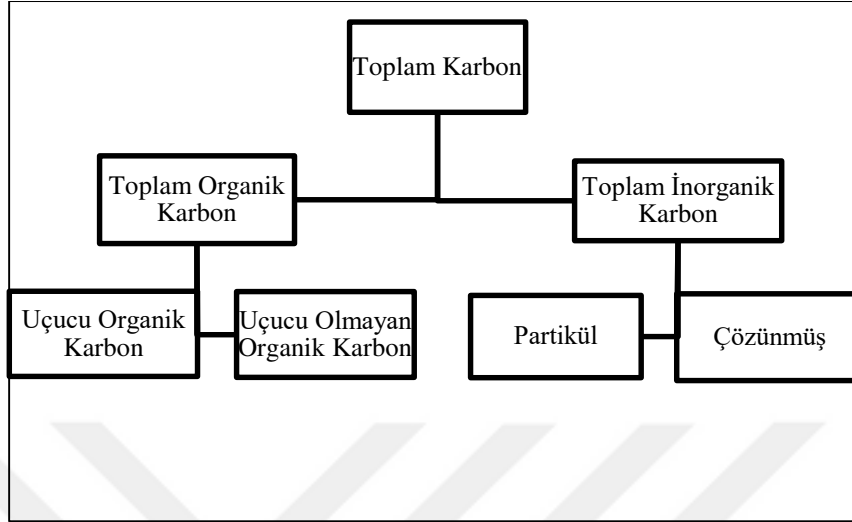
pH, bir çözeltinin asit veya baz olma özelliğinin şiddetini gösterir. Çözeltideki hidrojen iyonun aktivitesini ifade eder. pH; hidrojen iyonu

konsantrasyonunun negatif logaritması olarak tanımlanır ve matematiksel olarak $pH = -\log [H^+]$ şeklinde ifade edilir.

pH, su ve atıksu mühendisliğinde önemli bir parametredir. Sucul hayatta tolere edilebilir konsantrasyon aralığı oldukça dardır ki bu durum atıksu arıtımında da geçerlidir. Örneğin, Arıtma tesislerinin nitrifikasyon yapılan kısımlarının 7.2 ile 9.0 arasında, yani dar bir pH aralığında işlev gördüğü bilinmektedir. Kanalizasyon sistemlerinde korozyonu önlemek için pH 8'e yakın ve 7'nin üstünde tutulmalıdır (Sincero ve ark, 2002).

Toplam Organik Karbon

Bir atığın kirletici potansiyeli karbon içeriğine bakılarak değerlendirilebilir. Karbon içeriği, karbon, karbondioksit dönüştürülerek ölçülür. Test, bilinen bir miktar numunenin bir oksitleyici fırına enjekte edilmesi ile gerçekleştirilir. Fırının içindeki karbonun oksijen ile tepkimesinden oluşan karbondioksit miktarı, kızılötesi analizör ile nicel olarak ölçülür. Daha sonra toplam organik karbon konsantrasyonu, karbonun karbondioksit olan kimyasal oranı kullanılarak hesaplanır. TOK organik kirliliğin gücünü tam olarak gösteren bir parametredir. (Sincero ve Arkadaşları, 2002). Atıksularda TOK çoğunlukla gübreler, pestisitler, yüzey aktif maddeler gibi antropik katkılardan kaynaklanmaktadır (Visco ve ark, 2005). Şekil 1.3.'de sudaki karbonların sınıflandırılması gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Sudaki Karbonların Sınıflandırılması (Visco ve ark, 2005).

Azot

Azot atıksuyun önemli bir bileşenidir. Yediğimiz etlerde, tavuklarda azot içeren proteinler bulunmaktadır. İnsanlar tarafından bu besinler tüketilmekte ve azotun atıksuya karışımı bu şekilde olmaktadır. Protein yaklaşık olarak %16 azot içermektedir. Protein içindeki azot organik azottur. Bu nedenle, organik azot, bir organik atıktaki protein içeriğinin bir ölçüsüdür. Bir organik madde mikroorganizmalar tarafından saldırıya uğradığında, protein, serbest amonyağa hidrolize olur. Azot ve nitratlar, amonyağın nitritlere Nitrosomonas bakterisi tarafından oksitlenmesinin ve nitritlerin nitratlara Nitrobakter ile oksitlenmesinin sonucudur. Organik, serbest amonyak, nitrit ve nitrat azotlarının toplamına, toplam azot denir (Sincero ve ark, 2002).

Fosfor

Fosfor hem bitkilerde hem de hayvanlarda bulunur. Kemikler, dişler, sinirler ve kas dokuları fosfor içerir. Nükleik asit DNA ve RNA da fosfor içerir. İnsan vücudu bu fosforu yenen yiyeceklerle alır. Bunlar yiyecekler arasında yumurta, fasulye, bezelye ve süte bulunur. İnsanlar tarafından kullanıldığı için, bu

gıdalar fosfor ile birlikte atık sulara girerler. Atıksudaki fosforun bir diğer önemli kaynağı da deterjan üretiminde kullanılan fosfattır (Sincero ve ark, 2002).

Asidite ve Alkalinite

Asitlik ve alkalinite, bir atıksu arıtma tesisinin işletilmesinde kontrol edilmesi gereken gereken iki önemli parametredir. Digesterlar içerisindeki ortam asidik ise mikroorganizmalar asidik ortamda öleceğinden digesterlar çalışmaz. Ortam uygun alkalinite ve uygun asidite seviyelerine getirilmelidir. Atıksulardaki alkalinite, kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum gibi elementlerden, hidroksitler, karbonatlar ve bikarbonatların varlığından kaynaklanmaktadır. Atıksular normalde alkali özellik gösterir. Bu alkali özelliğini suyun kaynağından, evsel kullanım sonucu atıksuya karışan atıklardan alır (Sincero ve ark, 2002).

Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Belli bir atığın organik içeriğini okside etmek için bir kimyasal kullanarak oksijen eşdeğer içeriğini ölçmek için kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) testi kullanılmıştır. Belirli bir atığın eşdeğer oksijen içeriği ne kadar yüksekse, KOİ değeri de o kadar yüksek ve kirlilik potansiyeli o kadar yüksek olur. Potasyum dikromatın asidik bir ortamda mükemmel bir oksidan olduğu bulunmuştur. Test yüksek sıcaklıklarda yapılmalıdır. Bazı atık türleri için, oksitlenmeye yardımcı olması için bir katalizör (silversülfat) kullanılabilir.

KOİ testi normal olarak, standart BOİ testi kullanılarak elde edilen oksijen değerinden daha fazla oksijen eşdeğeri değeri verir. Çünkü daha fazla oksijen eşdeğeri her zaman, mikroorganizmalar tarafından oksitlenebilenlerden daha fazla kimyasal ile okside edilebilir. Bazı atık türlerinde, KOİ ve BOİ arasında yüksek düzeyde bir korelasyon kurulabilir. Durum böyle ise, bir korelasyon eğrisi hazırlanabilir, böylece BOİ için analiz yapmak yerine KOİ analiz edilebilir. BOİ testini tamamlamak için beş gün, KOİ testi için sadece üç saat sürdüğü için bu

pratik olarak avantajlıdır. Ardından korelasyon, arıtma tesisinin kontrolü ve işletilmesi için kullanılabilir (Sincero ve ark, 2002).

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), atıkların stabilize edilmesi (atıklardaki organik maddenin nötr maddelere dönüşmesi) sürecinde organizmanın organik maddeleri oksitlemek için tükettiği oksijen miktarını belirtir. Bu nedenle, bir atık suyun içerebileceği oksijen tüketen maddelerin miktarını veya konsantrasyonunu ölçmek için kullanılabilir. Analitik olarak, bir numuneyi 20°C'lik bir sıcaklıkta 5 gün boyunca bir buzdolabında inkübasyona alarak yapılır ve bu süre zarfında tüketilen oksijen miktarını ölçülür. Kullanılan oksijen miktarı atıksudaki organik madde miktarını gösterir. Belli bir atıkta oksijen tüketen maddeler karbonlu ve azotlu kısımlardan oluşur (Sincero ve ark, 2002). Standart metodlara göre uygulamaların çoğunda 5 günlük BOİ değeri kullanılmaktadır.

Sümfaktanlar

Yüzey aktif maddeler, suda az çözünür olan, arıtma tesislerinde ve atık suların deşarj edildiği yüzey sularında köpürmeye neden olan büyük organik moleküllerdir. Sümfaktanlar, yüzeylerle etkileşime girme özelliğine sahiptirler. Atıksuların havalandırılması sırasında, bu bileşikler hava kabarcıklarının yüzeyi üzerinde toplanırlar ve sabit bir köpük oluşturlar. Deterjanlar yüzey aktif maddelere örnektir (Sincero ve ark, 2002; Metcalf ve Eddy, 1991).

Klorür

Klorür, doğal tuz birikimlerinin çözülmesinden veya insan faaliyetlerinden kaynaklanan bir anyondur. Klorür, endüstriyel, ticari ve evsel faaliyetlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Deterjan sanayinde, plastik imalatında, gıdalarda, gübrelerde, kimyasallarda (çözücüler, yağ giderme maddeleri, yapıştırıcılar, böcek

öldürücü ilaçlar, herbisitler), tıbbi malzemelerde, kişisel bakım ürünlerinde, sebze ve işlenmiş yiyeceklerde dahi bulunmaktadır (Metcalf ve Eddy, 1991).

1.2.1.3. Evsel Atıksuların Biyolojik Özellikleri

Evsel atıksuların fiziksel ve kimyasal özelliklerine ek olarak, mikrobiyolojik bileşenlerinin de ele alınması önemlidir. Bu mikrobiyolojik bileşenler, bakteriler, protozoalar ve virüslerdir.

Bakteriler

Bakteriler doğada yaygın olarak bulunan tek hücreli canlılardır. İçtiğimiz suda, yediğimiz yiyeceklerde, nefes aldığımız havada ve vücudumuzun içinde bulunurlar. Bakteriler toprağın üst katmanlarında, nehirlerimizde, göllerimizde, denizde, kısacası her yerde bulunurlar. Bakteriler hem zararlı, hem de faydalıdır. Toplum tarafından üretilen atık maddeleri azaltırlar. Atıksu arıtma tesislerinde bakteriler kirlilik olarak tanımlanan maddeleri yerler ve biyokimyasal reaksiyonlarla son ürünlere (CO_2 , H_2O ve NH_3) dönüştürürler. Bakteriler protozoaları da besin maddesi olarak kullanırlar. Atıksuyun ihtiva ettiği azot, fosfor ve eser miktardaki bakır, çinko gibi mineraller bakterilerin ihtiyaç duyduğu maddelerdir. Atıksu arıtma tesislerinde karbon, azot, fosfor ve kükürt bileşiklerinin giderilmesinde kullanılırlar. Dolayısıyla faydalı olurlar. Öte yandan patojenik de olabilirler. Salmonella typhosa adlı bakteri tifoya, Shigella flexnerisi basilli dizanteriye neden olmaktadır. (Sincero ve ark, 2002).

Virüsler

Bir virüs bulaşıcı bir hastalığın submikroskopik (mikroskopta görülemeyecek kadar küçük) bir ajanıdır ve çoğalması için canlı bir hücre gerektirir. Bir virüsün iki temel bileşeni protein ve nükleik asittir. Normal hücreler hem RNA (ribonükleik asit) hem de DNA (deoksiribonükleik asit) içeriyorsa, verilen bir virüs sadece bir tanesini içerir, her ikisini de birden içermez. Bir virüs

normal hücrenin yaptığı gibi çoğalamaz. Metabolik enzimler yoktur, besin kullanmaz ve enerji üretmez. Sadece bir protein parçacığı ve nükleik asittir.

İki arıtma tesisinin deşarjından Houston, TX kanalına giden virüslerin kaderi üzerine yapılan bir araştırmada, deşarj noktasından 8 mil akış aşağısında önemli virüs konsantrasyonları tespit edildiği ve poliovirüsün, Galveston Körfezi'ne 33 kilometre uzakta istiridyeye içinde toplandığı bildirilmiştir (Gaudy ve Gaudy, 1980). Bu çalışma, virüslerin dışarıdaki ortamda oldukça uzun sürede hayatta kalabileceğini göstermektedir. Aslında, bazı virüslerin 40 gün boyunca 20 °C' de su ve atık suda ve normal koşullarda akarsuların 6 günlük periyotlarında hayatta kalabileceği bilinmektedir. Bu nedenle, bir sürü virüs içerebilen arıtılmış kanalizasyon suları, tarım arazilerini için sulanmak için asla kullanılmamalıdır.

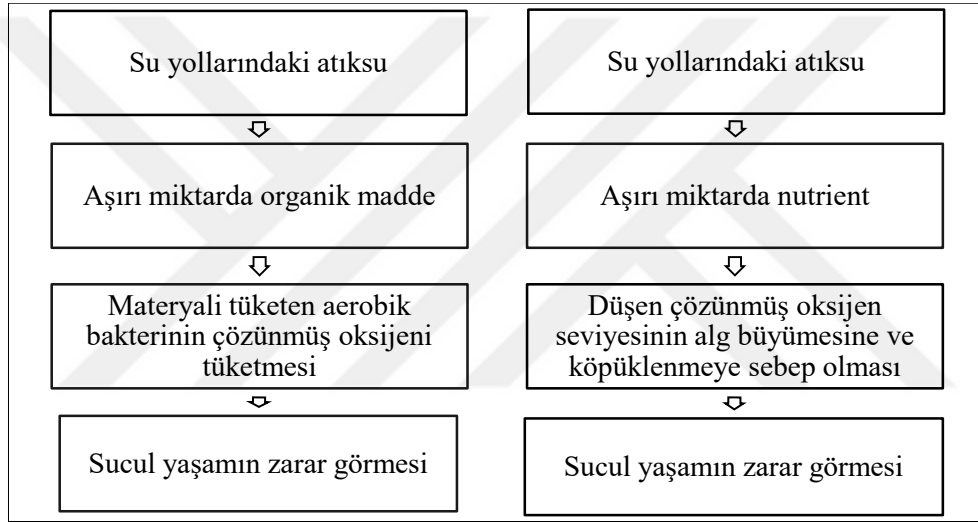
İnsanlar tarafından atılan virüsler büyük bir halk sağlığı tehlikesi oluşturabilir. Örneğin, çalışmalar, hepatit ile enfekte kişilerin dışkı gramı başına yaklaşık 10.000 ila 100.000 bulaşıcı virüs parçacıkları verdiğini göstermiştir. İnsanlardaki virüs üreten hastalıklar dışkıyla atılır, bu nedenle atıksu arıtma tesislerindeki virüslerin etkili şekilde dezenfekte olmasını sağlamak çevre mühendisinin sorumluluğundadır (Sincero ve ark, 2002).

1.3. Evsel Atıksuların Çevreye Etkileri

Organik İçeriğin Ekosistem Sağlığına Etkisi

Doğal olarak oluşan toprak ve su bakterileri, organik atıkları yiyerek hızla büyürler. Bol miktarda çözünmüş oksijenin bulunduğu doğal veya seyreltik su ortamında, aerobik bakteriler organik materyali yiyip yeni bakteri hücrelerini oluştururlar. Seyreltilmemiş atık su tek başına kalırsa, anaerobik (oksijen kullanmayan) bakteriler, atık organik maddeyi parçalayıp hidrojen sülfid gibi kokulu gazları ve metan ve karbondioksit gibi kokulu olmayan gazları açığa çıkarır. Ortamda kullanılan oksijen miktarının artması ya da bakteri yumağının çok hızlı bir şekilde büyümesi zararlara sebep olabilir.

Şekil 1.4.'de su yollarına salınan, organik materyallerin ve besin maddelerinin etkileri gösterilmektedir. Atık su, içinde bulunan aşırı miktarda organik materyali su yollarına getirdiği zaman, materyali tüketen aerobik bakteri sudaki çözünmüş oksijeni tüketir ve diğer durumda atık su, suyollarına aşırı besin maddeleri getirdiğinde, çözünmüş oksijen seviyelerini düşürebilen alg ve köpüklerin büyümesi tetiklenir. Her iki durumda da, sucul yaşam zarar görür (Ferguson ve ark, 2003).



Şekil 1.4. Su Yollarına Salınan Organik Madde ve Besin Maddelerinin Etkileri. (Ferguson ve ark, 2003).

Askıda Katı Maddenin Ekosistem Sağlığına Etkisi

Eğer atıksu artırılmadan deşarj edilirse, içerdiği katılar durgun bölgelere yerleşmeye meyillidir. Oksijen seviyesi yakında kontamine olmuş alanlarda tükenecek ve bu durum anaerobik olarak parçalanmaya neden olacaktır. Bu kontaminasyon yüksek yoğunluklarda ise, oksijen tükeninceye kadar akarsu içindeki su septikleşecektir. Bu durum yalnızca balıkları boğmakla kalmayıp, aynı zamanda ölü bölgelerin yaratılmasına ve akarsu dibindeki hayatın sonlanmasına sebep olacaktır (Ferguson ve ark, 2003).

Çözünmüş Tuzların Ekosistem Sağlığına Etkisi

Atıksu içindeki en önemli tuzlar nitratlar ve fosfatlardır. Bunlar bir dereceye kadar doğal yollarla meydana gelir. Nitrat aynı zamanda protein atık maddelerindeki organik azotun parçalanması ve idrardaki amonyak oksidasyonundan kaynaklanır. Fosfatlar, yıkamada kullanılan deterjanlarda bulunur ve ayrıca organik parçalanma ile üretilirler. Nitratlar ve fosfatlar büyüme için gerekli unsurlardır. Nitratlar ve fosfatlar doğal sulara (temiz sulara) bırakıldıklarında, alglerin ve sudaki yabancı otların büyümesine sebep olur. Bu aşırı büyüme ölümlere ve bozulmalara neden olur ve çözünmüş oksijenin daha fazla tüketilmesi ve su hayatının ölmesi anlamına gelir (Ferguson ve ark, 2003).

Bakteriler ve Virüslerin İnsan Sağlığına Etkisi

İnsan bağırsakları, dışkının bir parçası olan ve onunla birlikte atılan çok miktarda bakteri üretir. En yaygın ve kolayca ölçülebilen organizma, dışkı koliform bakterileri olarak adlandırılan E.coli, Escherichia coliform grubudur. Buna "gösterge" denir, çünkü varlığı sıcakkanlı hayvanların, dışkı maddesinin varlığına işaret eder. Kaynağın insan olup olmadığını anlamak için daha kapsamlı testler gerekir. İnsanlar tarafından üretilen kirlilik miktarını ve kuşlara ve suya karışan diğer hayvanlar tarafından üretilen miktarı ayırt etmek için özel testlere ihtiyaç vardır. Her bir kişi günde yaklaşık 140 milyar fekal koliform atar.

Virüslerin ana sınıfı gastroenterite neden olan enterik virüslerdir. Kalsivirüs (Norwalk virüsü), rotavirüs, enterovirüs (çocuk felci ve menenjit) ve hepatit bunlara örnek olarak verilebilir. Genellikle virüsler dış dünyada çoğalmaz, ancak uzun süre hayatta kalabilirler. Poliovirüs, atıksu arıtma tesislerinden çıkan aerosollerde bulunabilmektedir. Deniz ortamında, bazı virüslerin muhtemelen askıda kalmış katılarda korunup, günlerce hayatta kalabileceği bilinmektedir.

İnsan atıklarındaki fekal koliform bakterilerin çoğu zararsızdır. Bununla birlikte, zarar verebilecek hastalık organizmaları ya da "patojenler" vardır. Bunlar tifo gibi bakteriler veya hepatit B gibi virüsler olabilir. Bu patojenlerle doğrudan

temas veya su kaynağının kirlenmesi enfeksiyonlara neden olabilir (Ferguson ve ark, 2003).

Çözünmüş Diğer Bileşenlerin İnsan Sağlığına Etkisi

Atıksu, evlerden gelen gıdaları, ilaçları, kozmetik ürünleri ve temizlik ürünleri ile iş yerlerinden gelen metalleri, kimyasalları ve hormonları içerir. Bu atıklar küçük ya da lokalize alanlara fazla miktarlarda deşarj edilirse, kirlilik problemleri baş gösterebilir. Bu kirlilik problemleri ise besin zincirinin çeşitli noktalarında birikerek biyoakümülayasyona sebep olurlar. Bu yüksek konsantrasyonlar ise sucul yaşamda ve insanlarda ciddi sağlık problemlerine sebep olur.

Çeşitli atık su kalıntılarının insan sistemi üzerindeki uzun vadeli etkileri olabileceği düşünülmektedir. Su doğal olarak demir, çinko ve manganez gibi maddeleri içerir, ancak endüstriyel işlemler daha yüksek konsantrasyonlara neden olabilir. Konsantrasyonlar yüksekse, bazı metallere ve kimyasallara maruz kalma, vücudun sisteminin işleyişi üzerinde bir etkisi olabilir (Ferguson ve ark, 2003).

Endokrin Bozucular

İnsan vücudundaki endokrin sistemi, büyüme, gelişme ve olgunlaşma ve çeşitli organların çalışması gibi vücut fonksiyonlarının çoğunu düzenleyen karmaşık bir bez ve hormon ağıdır. Hipofiz, tiroid, adrenal, timus, pankreas, yumurtalıklar ve testisler de dahil olmak üzere endokrin bezleri doğal olarak kimyasal haberciler gibi davranırlar ve kan dolaşımına dikkatlice ölçülmüş hormon miktarlarını serbest bırakır. Birçok yaşam fonksiyonunu kontrol etmek ve ayarlamak için vücudun farklı bölgelerine giderler.

Endokrin bozucu sentetik bir kimyasaldır ve vücutta emildiğinde hormonları taklit eder veya bloke eder ve vücudun normal işlevlerini bozar. Bu bozulma, normal hormon düzeylerini değiştirerek, hormon üretimini durdurarak veya uyarak veya hormonların vücudun içindeki dolaşım biçimini değiştirmek

yoluyla olabilir. Bu bilimsel araştırmanın yeni bir alanı ve henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Örneğin, insanlar da dahil olmak üzere gıda zincirindeki tüm hayvanlarda doğurganlık düzeylerinde meydana gelen düşüşün, bu kimyasalların aşırı derecede boşaltılması sonucu olabileceği endişeleri bulunmaktadır. Bu durum insanlar için önemli olduğu kadar sucul yaşamda da oldukça önemlidir. Örneğin, atıksudaki yüksek seviyedeki östrojen, balıkların üreme döngüsünü etkileyebilir. Çizelge 1.4. 'de genel olarak atıksuyun sorun yaratan bileşenleri verilmektedir (Ferguson ve ark, 2003).

Çizelge 1.4. Atıksuyun Sorun Yaratan Bileşenleri (Ferguson ve ark, 2003).

Atıksudaki Malzeme Türü	Açıklama
Organik atık: • İnsan atığı • Yemek atıkları • Endüstriyel ve ticari atıklar • Hayvan atığı	• Dışkı, idrar, kan • Yemek artıklarını temizlerken kullanılan su • Ticari atık, imalat • tarım
Yağlar	• Evhalkının kullanımı • Ticari atıklar (garajlar, im • alathaneler)
Metaller	• Ev halkının kullanımı • Ticari atıklar
Çözücüler	• Ev halkının kullanımı (temizlik) • Ticari atıklar (garajlar, imalathaneler)
Kimyasal Maddeler	• Ev halkının kullanımı (temizleyiciler, sabunlar vb. aracılığıyla yıkama, banyo) • Ticari atıklar
Boyalar	• Ev halkının kullanımı • Ticari atıklar

1.4. Atıksuların Arıtılması

Pek çok kirlenici parametrenin atıksudan giderilmesi amacıyla atıksu arıtma tesisleri dizayn edilip, inşaa edilmektedir. Atıksuyun karakteristiğine, istenilen arıtma verimine bağlı olarak atıksu arıtma tesislerinin dizaynı birbirinden farklıdır (Vesilind ve ark, 2014). Şekil 1.5. 'de biyolojik atıksu arıtma tesisi akım şeması gösterilmektedir.

Arıtma yöntemlerini, kullanılan işlemler bakımından üç grupta toplayabiliriz. Birinci yöntem fiziksel işlemlerden faydalanılarak yapılan mekanik arıtma yöntemidir. İkinci yöntem mikroorganizmaların ve biyokimyasal reaksiyonların rol oynadığı biyolojik arıtma yöntemidir. Diğer bir yöntem ise, kimyasal proseslere dayanan kimyasal arıtma yöntemidir. Bu yöntemlerden hangisinin ya da hangilerinin birlikte kullanılacağı arıtılacak atıksuyun özelliklerine ve dışarj standartlarına göre karar verilir (Samsunlu, 2011).

1.4.1. Mekanik Arıtma

Mekanik arıtma işlemleri aşağıda belirtmiş olan işlemleri kapsamaktadır.

Izgaralar, arıtmanın ileri kısımlarında, arıtmayı sekteye uğratacak ya da tesis ekipmanlarına zarar verecek katı maddelerin ayrılmasında dolayısıyla suyun görüntüsünün düzeltilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Kaba ızgara ve ince ızgara olmak üzere ızgaralar ikiye ayrılmaktadır. (Samsunlu, 2011; Vesilind ve Arkadaşları, 2014).

Elekler, ızgaralardan kaçan daha ince katı maddeleri tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Elekler kentsel arıtma tesisi girişinde fazla kullanılmamasına rağmen genelde biyolojik ve ileri arıtmadan çıkan suların askıda katı maddelerini ve bir miktar organik bileşiklerini tutmak için de kullanılmaktadırlar. Elekler tutulan maddelerin boyutlarına göre kaba, ince ve mikro elekler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Samsunlu, 2011).

Kum tutucular, atıksuların ihtiva ettiği kum, çakıl gibi maddeleri tutmak amacıyla kullanılmaktadır. Böylece kum tanelerinin pompa ve boru gibi mekanik aksamalara zarar vermesi önlenmektedir. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğine göre, kum tutucular, belli büyüklükteki katı maddeleri tutmak ve daha ilerideki ünitelerde arıtılması amaçlanan küçük taneli maddelerin çökmesini engellemek amacı ile gerekli yüzey alanına sahip olmalıdır. Ünitedeki suyun yatay hızı tesise gelecek tüm debiler için ortalama 0.3 m/sn olacak şekilde tasarımlanmış olmalıdır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2010; Samsunlu, 2011).

Yağ tutucular, atıksulardaki yağın suyun yüzeyini kaplayacağından dolayı havadan suya oksijen geçişini engellememesi, tesisin makine aksamlarına zarar vermemesi ve çökmesi gereken tanelerin yağ tarafından tutularak çökmesinin engellenmemesi için kullanılmaktadır. Yağ tutucuların tasarımında bekleme süresi 1-15 dk arasında kabul edilmektedir (Samsunlu, 2011).

Dengeleme havuzları, atıksularda zamanla birlikte değişen debi, bileşim ve kirlilik yükünün dengelenmesi ve arıtma tesisine giden atıksu debisinin düzenli

olmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2010).

Çökeltim havuzları, atıksuda bulunan ızgara ve kum tutucudan geçen askıda organik maddelerin tutulup uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadırlar. Çökeltim havuzlarında suda partikül halinde bulunan maddelerin, sudan farklı öz kütleye sahip olması durumundan yararlanılmaktadır. Askıda katı maddeler, atıksu durgun olduğu takdirde yer çekiminin etkisiyle çökelmektedir. Giderilen askıda katı madde sayesinde biyolojik arıtmaya gidecek olan yük azaltılmış olmaktadır. Biyolojik arıtma ünitesiden çıkan mikroorganizma yumakçıkları son çökeltim havuzlarında tutulmaktadırlar. Kimyasal çöktürme ve yumaklaştırma proseslerinden sonra kolloidal veya askıda katı maddeler çökeltim havuzları sayesinde sudan uzaklaştırılmaktadır. Aynı zamanda üçüncül arıtım süreçlerinde de çökeltme havuzları kullanılmaktadır (Samsunlu, 2011). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliğine göre, çökeltim havuzları suyun üniform dağıtımını ve akımını sağlayacak giriş-çıkış yapıları ile donatılmış olmalıdır. Yüzeydeki köpük ve tabandaki çamur birikintilerinin uzaklaştırılması için uygun bir sıyırma tertibatı bulunmalıdır. Çamur haznesinin büyüklüğü çamurun özelliklerine ve çamur boşaltma aralıklarına uygun olmalıdır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2010).

Yüzdürme, yoğunluk farkından yararlanarak atıksulardaki katı ya da sıvı maddelerin su yüzeyinde toplayıp, bu maddelerin giderilmesi için kullanılmaktadır. Yüzdürme işlemi, çöktürülmesi zor olan hafif maddelerin giderilmesinde doğal olarak çöktürme işleminden daha başarılı olmaktadır. Yüzdürme işleminde gaz olarak genellikle hava kullanılmaktadır. Bu hava kabarcıkları, yüzdürülecek tanelere tutunur ve birlikte yukarıya doğru hareket etmektedirler (Samsunlu, 2011).

1.4.2. Kimyasal Arıtma

Kimyasal arıtmada, türlü kimyasal maddelerle atıksudan mekanik arıtma ile giderilemeyen kirlilikler giderilmektedir. Pıhtılaştırma, yumaklaştırma ve bunları takiben çökeltim işlemlerini içermektedir.

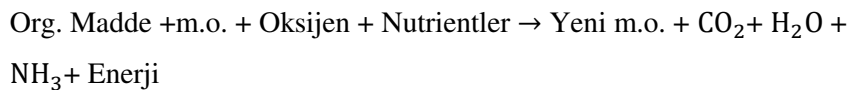
Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemi atıksudan askıda ve kolloidal haldeki maddeleri gidermek amacıyla kullanılmaktadır. Birbirini ardına uygulanan pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemleri birlikte kimyasal çöktürmeyi gerçekleştirmektedirler. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemleri; hızlı karıştırma, yumaklaştırma ve çöktürmede adımlarını içerir. Kimyasal madde ilavesi ile kolloidlerin çöktürülmesi sağlanmaktadır. Çökelmenin sağlanması için kolloidlerin bir araya gelip yumak oluşturması gerekmektedir. Homojen karışımı ve tanecik temasını sağlamak için kimyasal madde hızlı karışma işlemi yapılarak atıksuya eklenir ve bunun sonucunda giderilmesi istenen kirleticiler pıhtılaştırılmış olmaktadır. Pıhtılaşma sonrasında yavaş karıştırma ile yumaklaşma sağlanmaktadır (Samsunlu, 2011).

1.4.3. Biyolojik Arıtma

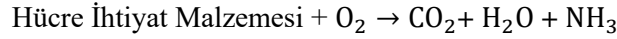
Biyolojik arıtma yöntemleri atıksuyun ihtiva ettiği organik ve kısmen de inorganik maddelerin, mikroorganizmalar tarafından besin ve enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla atıksudan giderilme esasına dayanmaktadır. Organik maddelerin bir kısmı mikroorganizma hücresine, bir kısmı da enerjiye dönüşmektedir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2010).

1.4.3.1. Aerobik Arıtma

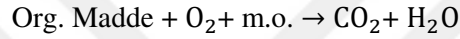
Çözünmüş oksijenin varlığında mikroorganizmaların organik ve inorganik maddeleri ayrıştırmasına ve kararlı hale dönüştürmesine dayanan reaksiyonların gerçekleştiği sistemler aerobik sistemlerdir. Organik atıklar aerobik mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak enerji temin edilir ve yeni hücreler oluşturulur. Yeni mikroorganizmaların oluşum mekanizması aşağıdaki gibidir.



Gıda arzı bittikten sonra hücrenin ihtiyat malzemelerinin bir kısmı kendi kütlesi tarafından okside edilir. Kendi kendine oksidasyon (disimilasyon) aşağıdaki gibidir.



Yukarıdaki bu iki denklem organik maddenin tam oksidasyonunu tanımlamaktadır. Kısaca aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Aerobik arıtma sistemleri genel olarak askıda çoğalan sistemler ve tutunarak çoğalan sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Askıda çoğalan biyolojik arıtma sistemlerinde mikroorganizmalar reaktör içinde askıda halde tutulur ve organik kirlilik ortamdan biyokütle olarak uzaklaştırılır. Karıştırma ile askıda tutulan biyokütle arıtma çamuru olarak adlandırılır ve sistemden uzaklaştırılır. Aktif çamur prosesi en yaygın kullanılan askıda çoğalma sistemidir. Tutunarak çoğalan sistemlerde ise mikroorganizmalar taş, seramik, plastik gibi maddelerin üzerinde tutunarak faaliyet gösterirler. Damlatmalı filtre prosesi en yaygın kullanılan tutunarak çoğalan biyolojik arıtma sistemidir (Samsunlu, 2011).

1.4.3.1.(1). Aktif Çamur Sistemleri

Aktif çamur organik ve inorganik maddeler içeren atıksu ile canlı ve cansız mikroorganizmaların karışımından oluşmaktadır. Bu sistem organik maddelerin bakteriler tarafından parçalanıp bakteri yumakları oluşturulup, oluşan bu bakteri yumaklarının çökeltiyle ayrıştırılması esasına dayanır. Aktif çamur sisteminde havalandırma havuzu ve son çöktürme havuzu iki önemli birimdir. Oluşan fazla çamur genellikle ön çöktürme havuzundan gelen çamurla birlikte çamur

yoğunlaştırma ve çürütme ünitelerine gönderilir. Buradan sonra çamur kurutma yataklarına verilir (Samsunlu, 2011).

1.4.3.1.(2). Mekanik Havalandırma Havuzları (Havalandırılmalı lagünler)

Havalandırma havuzları toprak havuzlar olup derinlikleri 2.5-5 m arasındadır. Mekanik havalandırma ekipman olarak havalandırıcılara ihtiyaç vardır (Samsunlu, 2011). Havalandırılmalı lagünler, esasta aktif çamur metoduna benzer özellikler gösterirler. Ancak bunlarda son çökeltim havuzundan sonra biyolojik çamur geri dönüşü uygulanmaz. Ayrıca; havalandırılmalı lagünlerdeki atıksu bekleme süreleri diğer aktif çamur sistemlerine kıyasla çok daha uzundur (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2010).

1.4.3.1.(3). Stabilizasyon Havuzları

Aerobik biyolojik arıtma sistemleri içinde en basit ve işletilmesi en kolay olan arıtma sistemidir. Atıksu derin olmayan havuzlarda bir süre bekletilerek atıksu içindeki organik maddelerin ayrışması sağlanır. Aerobik stabilizasyon havuzuna gelen organik maddelerin ayrıştırılması bakteriler ve alglerin yardımı ile olur. Açığa çıkan oksijen, heterotrof bakteriler tarafından kullanılır. Bakteriler atıksu da bulunan organik maddeyi enerji kaynağı olarak kullanırlar. Stabilizasyon havuzlarında enerji ihtiyacı yoktur. Çünkü herhangi bir mekanik teçhizat kullanılmasına gerek yoktur (Samsunlu, 2011).

1.4.3.1.(4). Damlatılmalı Filtreler

Damlatılmalı filtreler, içinde geçirimli dolgu malzemeleri bulunan, mikroorganizmaların bu dolgu malzemesine tutunduğu biyolojik arıtma sistemleridir. Ön çökeltimden geçirilerek içinde çökelebilen maddelerin uzaklaştırılmış olduğu atıksu filtre yatağından geçirilirken, filtre malzemesi üzerine oluşan biyofilm, atıksu içerisindeki organik maddeleri besi maddesi olarak kullanarak kalınlığını artırır. Biyofilm belirli kalınlığa ulaştıktan sonra, filtreden

süzülen suyun yol açtığı hidrolik kesme kuvveti ile koparak sürüklenir ve son çöktürme havuzunda çökeltilerek sistemden uzaklaşması sağlanır (Samsunlu, 2011).

1.4.3.1.(5). Biyodiskler

Biyodiskler, PVC'den yapılmış birbirine yakın dairesel disk serilerinden oluşur. Diskler suyun içine kısmen batık olarak yavaşça dönerler. İşletme esnasında biyolojik büyüme disklerin yüzeylerinde olur. Diskler dönerken üzerindeki biyokütle atıksu içindeki organik madde ile biyokütle temas eder ve daha sonra sudan çıkan disk üzerindeki biyofilm gerekli oksijeni adsorbsiyon yoluyla atmosferden sağlar. Bu şekilde oksijen adsorbsiyonu ve aerobik koşullardaki biyokütle oluşumu biyodisklerin dönmesi ile sürekli olarak sağlanır. Böylece oluşan çamur son çökeltim havuzlarına gönderilir (Samsunlu, 2011).

1.4.3.2. Anaerobik Arıtma

Anaerobik arıtma organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik proseslerle parçalanarak CH_4 , CO_2 , NH_3 ve H_2S gibi son ürünlere dönüştürülmesi olarak tanımlanmaktadır. Mikroorganizmaların konumuna göre askıda büyüme ve bağlı büyüme ünitelerinden oluşabilir (Samsunlu, 2011).

1.4.3.3. Fakültatif Arıtma

Fakültatif biyolojik arıtma yöntemleri evsel atıksuların arıtımında stabilizasyon havuzlarında kullanılmaktadır. Aerobik ve anaerobik arıtma proseslerinin aynı anda gerçekleştirildiği bu sistemde iki bölge arasında kalan ara bölgeye fakültatif bölge denir. Bu fakültatif bölge hem aerobik hem de anaerobik arıtma proseslerinin özelliklerini içermektedir. Bu bölgede yaşayan mikroorganizmalar fakültatif organizma adını alırlar (Samsunlu, 2011).

1.5. Atıksu Arıtma Tesislerinin Dizaynı

1.5.1. Nüfus Tahminleri

Çevre Mühendislerinin çalışacağı projelerdeki, en gerekli verilerden birisi nüfus değeridir. Nüfus bilgisi, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yapılan nüfus sayımlarından temin edilebilir. Gelecekteki nüfusun doğru hesaplanması projelerin verimliliği açısından oldukça önem arz eder. Herhangi bir yerleşim yerinin gelecekteki nüfusunu tahmin etmek için çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Bunlar; aritmetik artış, geometrik artış, lojistik eğri metodu ve benzer şehirlerle karşılaştırma yöntemleridir (Henze ve ark, 2002).

1.5.2. Atıksu Miktar ve Özellikleri

1.5.2.1. Debi

Atıksu debisinin herhangi bir kararlılığı bulunmamaktadır. Mevsimler, tatiller, mesai saatleri, özel günler, zamanla birlikte değişen nüfus debinin kararlılığını bozmaktadır. Atıksu arıtma tesisleri planlanırken, debinin o an ve gelecekte gösterebileceği değişkenlikler mutlaka hesaba katılmaktadır. Atıksu debisi muhakkak ölçülür, ölçülemediği takdirde de daha önceki projeler doğrultusunda doğru tahminler yapılmaya çalışılır (Henze ve ark, 2002).

1.5.2.2. Evsel Atıksu Bileşimi

Günlük yahut yıllık kişi başına düşen kirlilik yükü, evsel atıksuyun kompozisyonunu anlayabilmeleri açısından çevre mühendislerine ışık tutar. Çizelge 1.6.'da kg cinsinden yıllık kişi başına düşen kirlilik yükü değerleri farklı ülkelerinkiyle birlikte verilmiştir. Evsel atıksuyun içeriğindeki kirleticilerin oranı yer ve zaman açısından farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, atıksuyu meydana getiren kişilerin çevre bilinçlerine, dini ritüellerine, yaşadıkları bölgenin iklimine, temiz su kaynaklarına, ekonomik güçlerine, kanunlara, yaptırımlara,

kanalizasyon sistemlerine göre ortaya çıkmaktadır. Bu farklılıklardan yola çıkarak atıksular zayıf, orta ve sert özellikte olarak nitelendirilmektedir. Tüketilen madde sabit kalmak koşuluyla, seyreltik(zayıf) atıksu, fazla yağış, fazla su tüketimi anlamına gelebilirken, konsantre(sert) atıksu az su tüketimine işaret edebilmektedir. Evsel atıksu arıtma proseslerinin seçiminde, atıksuyun bileşenlerinin birbirleriyle oranı önemlidir. Çizelge 1.5.' de bu tipik oranlar gösterilmiştir. Örneğin; yüksek KOİ/BOİ oranı, zor parçalanan organik maddenin varlığını gösterirken, yüksek UAKM/AKM oranı ise askıda katı maddenin içerisindeki UAKM' nin yüksek olduğunu göstermektedir (Henze ve ark, 2002).

Çizelge 1.5. Kirlетici Parametreler Arasında Tipik Oranlar (Henze ve ark, 2002).

Oran	Düşük	Tipik	Yüksek
KOİ/BOİ	1.5-2.0	2-2.5	2.5-3.5
KOİ/TN	6-8	8-12	12-16
KOİ/TP	20-35	35-45	45-60
BOİ/TN	3-4	4-6	6-8
BOİ/TP	10-15	15-20	20-30
KOİ/UAKM	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-2
UAKM/AKM	0.4-0.6	0.6-0.8	0.8-0.9
KOİ/TOK	2-2.5	2.5-3	3-3.5

Çizelge 1.6. Çeşitli Ülkelerde Kişi Başına Düşen Kirlilik Yükleri (Henze ve ark, 2002)

Kirletici (kg/kişiyıl)	Danimarka	Brezil -ya	Mısır	Hindis- tan	İtalya	İsveç	Türkiye	Uganda	ABD	Alman -ya
BOİ	20-25	20-25	10-15	10-15	18-22	25-30	10-15	20-25	30-55	20-25
AKM	30-35	20-25	15-25	-	20-30	30-35	15-25	15-20	30-55	30-55
Top N	3-5	3-5	3-5	-	3-5	4-6	3-5	3-5	5-7	4-6
Top P	1.5-2	0.6-1	0.4-0.6	-	0.6-1	0.8-1.2	0.4-0.6	0.4-0.6	1.5-2	1.2-1.6
Yüzey Aktif Maddeler	0.8-1.2	0.5-1	0.3-0.5	-	0.5-1	0.7-1	0.3-0.5	-	0.8-1.2	0.7-3
Fenol	10-20	-	3-10	-	3-10	-	3-10	-	-	-
Hg	0.1-0.2	-	0.01-0.2	-	0.02-0.04	0.1-0.2	0.01-0.02	-	-	-
Pb	3-10	-	5-10	-	5-10	5-10	3-10	-	-	-
Cr	2-4	-	2-4	-	2-4	0.5-1.5	2-4	-	-	-
Zn	15-30	-	15-30	-	15-30	10-20	15-30	-	-	-
Cd	0.2-0.4	-	-	-	-	0.5-0.7	-	-	-	-
Ni	2-4	-	-	-	-	0.5-3	-	-	-	-

1.5.3. Evsel Atıksu Analizi ve Karakterizasyonu

1.5.3.1. Askıda Katı Madde

Atıksuyun ihtiva ettiği, kirletici olarak tanımladığımız maddeler, çözünmüş ve askıda katı maddeler olarak ikiye ayrılmaktadır. Genelde sularda çözünmüş ve askıda katı madde arasındaki fark tam olarak anlaşılamamıştır. Dünyada çözünmüş ve askıda katı madde arasındaki farkı ortaya koyan net olarak bir uzlaşma olmamaktadır. Mesela Danimarka’da 1.6 µm (GF/A) filtre çapından geçen maddeler çözünmüş madde sayılırken, diğer ülkelerde 1 µm ya da 0.45 µm çapından geçenler çözünmüş madde sayılmaktadır. Gözenek çapı ne kadar büyük olursa askıda katı madde geçişi daha fazla olacaktır.

Atıksudaki katı maddelerin partikül çapları değişkendir ve bu partiküler çap değişkenliği atıksu arıtma tesisi dizaynında ayırma ve çökeltim işlemleri için önem arz eder. Çünkü her atıksuyun kendine has partiküler madde dağılımı vardır (Henze ve ark, 2002).

1.5.3.2. Organik Madde

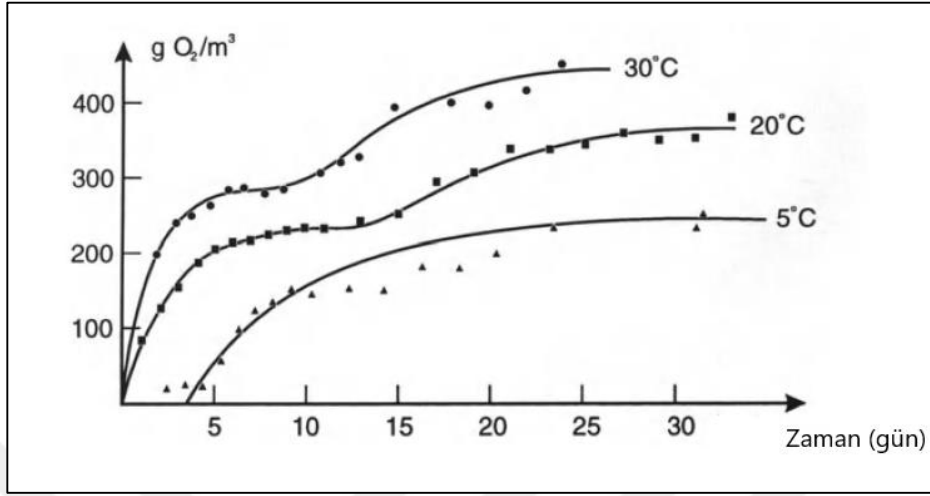
Atıksu binlerce farklı organik maddeyi ihtiva eder. Bu bileşenlerin tek tek analizlerini yapmak mümkün değildir. Bu yüzden organik maddelerin belirli bir kısmını gösteren analizler birlikte yapılmaktadır. Eğer organik madde oksitleniyorsa, tüketilen oksijen miktarı BOİ, KOİ analizleri ile veya üretilen karbondioksit miktarı TOK analiz ile ölçülebilmektedir. Bu analiz yöntemlerinin sonuçları farklıdır bu yüzden KOİ, BOİ’ nin ya da TOK, KOİ’ nin yerine tam olarak geçemez (Henze ve ark, 2002). Çizelge 1.7.’de organik içeriği göstermek için birlikte kullanılan parametreler arası ilişkiler gösterilmiştir.

Çizelge 1.7. Atıksularda Organik Maddelerin Analizleri ve Aralarındaki İlişki (Henze ve ark, 2002).

Sembol	Bileşen	Ham Atıksu
C_{KOI}	KOI değeri	600 (gO ₂ /m ³)
C_{BOI_5}	BOI ₅ değeri	280 (gO ₂ /m ³)
C_{BOI_7}	7 günlük BOI ₇ değeri	320 (gO ₂ /m ³)
C_{TOK}	Toplam organik karbon değeri	200 (gC/m ³)
C_{TOI}	Toplam oksijen ihtiyacı değeri	800 (gO ₂ /m ³)

BOİ

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) genellikle BOİ₅, 5 günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı anlamına gelmektedir. İngiltere’de geliştirilen BOİ deneyi fikri, atıksudaki mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu oksijen miktarına dayanmaktadır. Atıksudaki kirlilik derecesini ölçmek için gerekli oksijen ihtiyacı kullanılmıştır. Şekil 1.6.’ da görüldüğü üzere reaksiyon süresinin ve sıcaklığın artmasıyla birlikte oksijen talebi de arttığı için, başlangıçta standart değerler 18 °C ve 5 gün olarak kullanılması kararlaştırılmıştır. Ancak şimdi standart sıcaklık 20°C olarak kabul edilmiştir (Henze ve ark, 2002). Standart BOİ analizinde inkübasyon süresinin 5 gün seçilmesinin temel nedeni nitrifikasyon bakterileridir.



Şekil 1.6. BOİ Deneyi Eğrileri (Henze ve ark, 2002).

BOİ deneyi, mümkün mertebe doğal şartlara yakın bir ortamda canlı organizmaların, atığın ihtiva ettiği organik maddeleri tüketirken kullandıkları oksijenin ölçümü esasına dayanan bir biyoanaliz metodudur (Sawyer ve ark, 2013). BOİ deneyi, organik maddelerin ve amonyağın oksidasyonu için mikroorganizmaların oksijen ihtiyacını ölçmek için kullanılır. Biyolojik olarak parçalanabilen maddenin büyük bir kısmı 5 günlük bir zaman diliminde oksitlenecektir. Bu deney, bozunur organik madde miktarını ve oksitlenmiş amonyak miktarını ayrı ayrı ortaya çıkarmaz. Farklı organik maddelerin, gram organik madde başına farklı oksijen talepleri vardır ve bu BOİ analizinin, sadece oksitlenmiş organik maddenin ağırlığına ilişkin yaklaşık bir tahmin vermesi anlamına gelmektedir. Biyolojik olarak parçalanabilir maddenin sadece bir bölümünü BOİ değeri temsil ettiği için, atıksuyun karakteristiğini belirlemede kullanılan organik madde miktarını sadece BOİ değeri kullanılarak hesaplamak hatalara sebep olabilmektedir. Daha eksiksiz bir analiz elde etmek için analiz süresi 5 günden 20 ila 30 güne uzatılabilir. Ham atıksu için hesaplanan bu değer yani nihai BOİ, genellikle BOİ₅ değerinden %40-50 daha yüksektir (Henze ve ark, 2002).

KOİ

KOİ analizi evsel atıksudaki organik madde miktarını belirlemede doğru bir tahmin sunmaktadır. Bu tahmin atıksudaki organik maddelerin oksidasyonu sonucu elde edilecek teorik oksijen ihtiyacının %90-95 civarındadır (Henze ve ark, 2002). KOİ analizi, bir atığın oksitlenerek karbondioksit ve suya dönüşmesi için gerekli toplam oksijen miktarının belirlenmesini sağlar. KOİ analizi BOİ analizine göre çok kısa sürede tamamlanmaktadır. KOİ' nin belirlenmesi sırasında, biyolojik olarak parçalanabilirliğe bakılmaksızın organik maddeler karbondioksit ve suya dönüştürülür. Bu yüzden KOİ değeri BOİ değerinden her zaman fazladır (Sawyer ve ark, 2013). KOİ değeri, BOİ değerine göre atıksuyun karakteristiğini belirlemede kullanılan organik madde miktarı hesaplamaları için daha uygundur (Henze ve ark, 2002).

KOİ Bileşenleri

KOİ değeri, çeşitli biyolojik özelliklere sahip bir dizi organik madde içermektedir. Biyolojik arıtma tesislerinde yapılacak proses hesapları için KOİ aşağıdaki bileşenlere ayrılmaktadır. Şekil 1.7.'de KOİ bileşenleri gösterilmektedir.

$$CKOİ = S_S + S_1 + X_S + X_1 + X_B$$

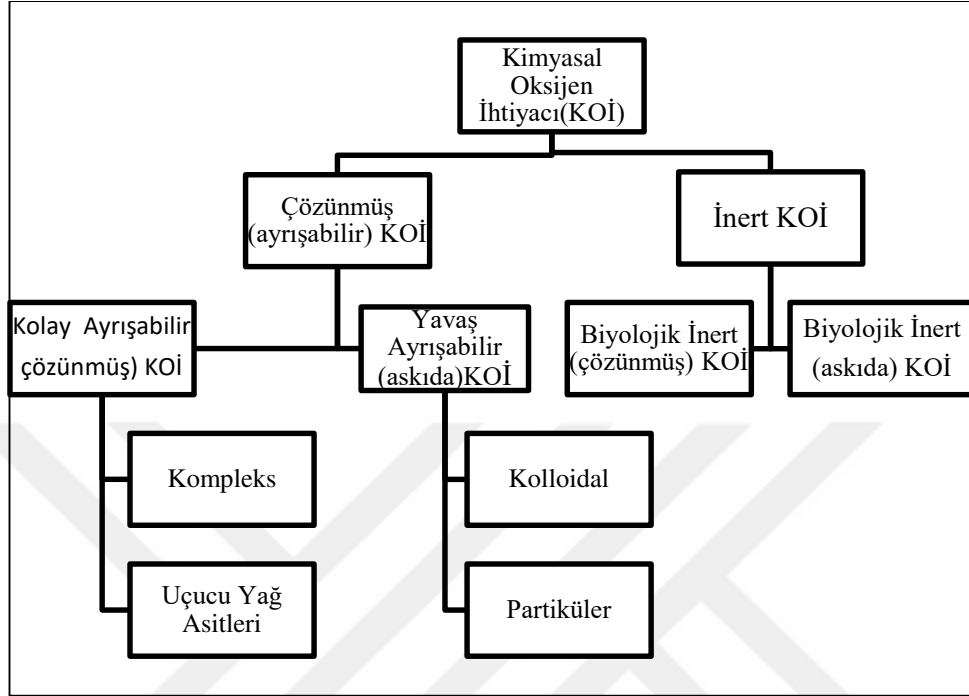
S_S =(çözünmüş) kolay ayrışabilir

S_1 =(çözünmüş) biyolojik inert

X_S =(askıda) yavaş ayrışabilir

X_1 =(askıda) biyolojik inert

X_B = biyokütle



Şekil 1.7. KOİ Bileşenleri (Henze ve ark, 2002).

Atıksu karakterizasyonuna dair esas tartışma konusu, çözünmüş ve askıda maddeler arasındaki ayrım olmaktadır. Biyolojik işlemler için bu ayrım önemli değildir. Ancak çökelme açısından önemli olmaktadır. S_S ve X_S , KOİ'nin ana bileşenlerini ifade etmektedir. Partiküler maddenin (S_S), çözünmüş organik maddelere (X_S) göre daha kolay ve hızlı parçalandığı bilinmektedir. Atıksuda farklı miktarlarda bulunan biyokütle arıtma proseslerindeki biyokütle yapısını etkilemektedir. Atıksu akımı ile birlikte biyokütle girişi (aşılama), proses için yararlı olabilmektedir. Aynı zamanda aşılama ile ipliksi yahut köpük oluşturan mikroorganizmaların prosese girmesi durumu sorunlara da sebebiyet verebilmektedir (Henze ve ark, 2002).

TOİ

Yüksek bir sıcaklıkta oksitlenerek ve uygun bir katalizör kullanılarak, TOİ olarak adlandırılan toplam kimyasal oksijen ihtiyacı belirlenebilmektedir. Bu analizde, KOİ analiziyle oksitlenmeyen birkaç organik bileşik oksitlenmektedir. Ayrıca amonyum oksitlenmektedir. TOİ değerleri Çizelge 1.7.' de görüldüğü üzere, bu nedenle KOİ değerlerinden biraz daha yüksektir (Henze ve ark, 2002).

TOK

TOK analizinde organik madde yakılarak karbondioksit dönüştürülmektedir. Oksitlenme işleminden önceki ve sonraki karbondioksit konsantrasyonları arasındaki fark TOK' un hesaplanması için kullanılmaktadır. TOK analizi, karbon atomlarının miktarını ifade ettiği için organik maddelerle ilgisi olan başka parametrelere tartışmasız bir şekilde bağlı değildir ve onların oksidasyon durumu hakkında bilgi vermemektedir yani oksidasyon için ne kadar oksijen kullanılması gerektiği konusunda bilgi vermemektedir (Henze ve ark, 2002).

1.5.3.3. Azot

Organik maddeye benzer olarak, atık sularındaki azot da çok sayıda fraksiyona bölünebilir.

$$C_{TN} = S_{NOX} + S_{NH_4} + S_{I.N} + S_{C.N} + X_{I.N}$$

$$C_{TN} = \text{Toplam Azot}$$

$$S_{NOX} = \text{Nitrit + Nitrat oksijen}$$

$$S_{NH_4} = \text{Amonyum + Amonyak azotu}$$

$$S_{I.N} = \text{Çözünmüş sabit organik madde}$$

$$S_{C.N} = (\text{askıda}) \text{ kolay ayrışabilen organik azot}$$

$X_{I,N}$ =(askıda) sabit organik azot

Azot fraksiyonları (nitrit, nitrat, amonyum azotu, Kjeldahl azotu) klasik analiz yöntemleriyle belirlenebilmektedir. Farklı organik fraksiyonlardaki azot içeriğinin farklı atıksularda sabit olduğu varsayılmaktadır (Henze ve ark, 2002).

1.5.3.4. Fosfor

Atık sulardaki fosfor aşağıdaki fraksiyonlara bölünebilmektedir (Henze ve ark, 2002).

$$C_{TP} = S_{PO_4} + S_{p-P} + S_{org,P} + X_{org,P}$$

C_{TP} = toplam fosfor

S_{PO_4} =çözünmüş inorganik ortofosfat

S_{p-P} =çözünmüş inorganik polifosfat

$S_{org,P}$ =çözünmüş organik fosfor

$X_{org,P}$ =askıda organik fosfor

1.5.3.5. Alkalinite

Alkaliniteyi nitrifikasyon, denitrifikasyon ve kimyasal çöktürme gibi işlemler etkilemektedirler. Normalde 5 eqv / m³ üzerinde bir alkaliniteye sahip evsel atıksular nitrifikasyon, denitrifikasyon ve eşzamanlı çökelme ile ilgili problemlere neden olmazken, daha düşük alkalinite pH'da bir düşüşe ve işlemlerin düşük verimliliğine neden olabilmektedir (Henze ve ark, 2002).

1.5.3.6. Çamur Hacim İndeksi (SVI)

Çamur Hacim İndeksi 1 gr kuru maddenin mL cinsinden işgal ettiği hacim olarak ifade edilir. Beher ya da ölçülü silindirde 30 dk'lık bir çökelmenin ardından ölçülür. Çamur hacim indeksi, aktif çamurun topaklanma ve çökelme özellikleri

hakkında bilgi vermektedir. Çamur hacmi endeksinin daha düşük olması(75-125 ml/L), daha iyi flokülasyon ve çökelme özellikleri anlamına gelmektedir (Henze ve ark, 2002).

1.5.3.7. Oksijen Tüketim Hızı

Aktif çamurun oksijen tüketim hızı, çamur hakkında, çamurun toksik etkilere maruz kalıp kalmadığı, belli bir sayıda canlı mikroorganizma ve kolayca parçalanabilir organik madde içerip içermediği hakkında bilgiler vermektedir (Henze ve ark, 2002).

1.6. Dizayn ve İşletme Parametreleri Arasındaki İlişkiler

Atıksu arıtma tesislerinin dizaynı ve işletilmesinde pH, KOİ, BOİ₅, TOK ve AKM gibi parametreler yoğun olarak kullanılır. Örneğin, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğinde, evsel atıksular için ölçülmesi istenen deşarj parametreleri pH, KOİ, BOİ₅ ve AKM'dir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2004). Arıtma tesisleri işletilirken her bir ünitenin öngörülen işletme verimini sağlayıp sağlayamadığını takip edebilmek için analizler yapılır. Bu analizlerin kısa süreli olmaları istenir. Çünkü kısa zamanda işletmeye müdahale edilebilmelidir. Mesela çıkış suyundaki BOİ₅ değeri yüksek ise ikinci bir BOİ₅ ölçümü için beş gün gereklidir. Bu süre zarfında arıtma tesisinde istenmeyen durumlarla karşı karşıya kalınabilir. Böyle durumlarda deşarj standartlarını sağlamayan atıksu alıcı ortamlara deşarj edilmiş olur. Bu deşarj çevre ve halk sağlığı açısından bir tehdit oluşturur.

Kısa sürede sonuç veren analizler, KOİ ve TOK gibi, atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde oldukça pratik olarak görülür. Bu yüzden dizayn ve işletme parametreleri arasındaki ilişkiler önceden bilinirse, diğer parametreler kolayca tahmin edilebilir. Bu amaçla, literatürde parametreler arasındaki ilişkiler üzerinde duran birçok çalışma mevcuttur (Janna, 2016; Mesdaghinia ve ark, 2015; Johal ve ark, 2014; Abdalla ve ark, 2014; Nutt ve ark, 2013; Hodzic, 2011; Dubber

ve ark, 2010; Ademoroti, 1986) Her bölgenin atıksularının özelliklerinin farklı olabilmesinden dolayı, her bir atıksu için parametreler arası çalışmaların yapılması ve zamanla bu özelliklerin değişebilmesinden dolayı da belli zaman aralıklarıyla tekrarlanması ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

1.6.1. KOİ, BOİ₅, TOK ve AKM Arasındaki İlişkiler

Atıksuyun BOİ₅ değeri arıtma tesislerinin tasarımında önem teşkil eder. Hangi arıtma yönteminin kullanılması gerektiği hakkında çevre mühendislerine ışık tutar. BOİ₅ değeri aktif çamur ve damlatmalı filtre ünitelerinin boyutlandırılmasında önemli bir faktördür. BOİ₅ analizi arıtma tesisi dizayn edilip, işletilmeye başlandıktan sonra proseslerin verimliliği değerlendirilirken kullanılır (Sawyer ve ark, 2013). BOİ₅ analizi, biyolojik olarak parçalanamayanlar hakkında bilgi vermez (Mara ve ark, 2003).

Atıksuyun KOİ değeri biyolojik arıtma tesisleri tasarımında önem teşkil eder. KOİ analizi, arıtma tesisi dizayn edilip işletilmeye başlandıktan sonra proseslerin verimliliğini değerlendirirken kullanılır (Sawyer ve ark, 2013). KOİ, biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeleri içerir fakat biyolojik olarak parçalanabilen ve biyolojik olarak parçalanamayan maddeleri ayrı ayrı vermez (Mara ve ark, 2003). KOİ analizi, klorürün yüksek konsantrasyonlarda oluşundan etkilenir (Dubber ve ark, 2010; Bourgeois ve ark, 2001). Buna ek olarak KOİ analizinin toksik madde varlığından etkilenmediği gösterilmiştir Bourgeois ve ark, 2001; Ademoroti, 1988). KOİ analizi ile BOİ analizinin birlikte kullanımı, toksik şartların ve biyolojik olarak dirençli organik maddelerin belirlenmesine yarar (Sawyer ve ark, 2013). BOİ₅ ve KOİ, su ortamındaki organik atıkların sebep olduğu kirliliğin değerlendirilmesinde, atıksu su sistemlerinin izlenmesinde, tasarımında ve modellenmesinde dünya çapında kullanılan su kalitesi parametreleridir (Bourgeois ve ark., 2001; Dubber ve ark, 2010; Lee ve ark, 2016).

KOİ/BOİ oranı atıksudaki organik maddenin varlığının oranını gösterir (Dubber ve Ark, 2010). KOİ analizinin en büyük artısı, kısa sürede sonuç alınabilmesidir. BOİ analizi beş gün sürerken KOİ analizi yaklaşık olarak 3 saat sürer. Bu durumundan dolayı BOİ analizi yerine KOİ analizi kullanılabilir. Bununla birlikte, KOİ analizinin kullanımında üretilen; civa, sülfirik asit, gümüş ve metotta kullanılan diğer metaryelleri içeren tehlikeli atıklar KOİ analizi için büyük bir dezavantajdır (Bourgeus ve ark, 2001).

Birçok durumda uzun süreli yapılan KOİ ve BOİ analiz sonuçları kullanılarak KOİ ile BOİ arasında doğrusal bir ilişki elde edildiği takdirde KOİ değeri kullanılarak BOİ değeri yorumlanabilir. Bu ilişki, atıksuyun içeriği zamana bağlı olarak değiştiğinden farklılık gösterir (Sawyer ve ark, 2013; Ademoroti, 1986). KOİ ve BOİ arasında belirli koşullar altında belirli bir korelasyon vardır ve KOİ'yi belirleyerek, atıksuyun BOİ'si hakkında bilgi elde edilebilir, fakat bu durum yüksek oranda atığa bağlıdır. Yani atıksudan atıksuya değişir (Sawyer,2003; Russell, 2006; Abdalla ve ark, 2014). Evsel ham atıksular için KOİ/BOİ oranı yaklaşık olarak 2'dir. Ön çökeltimden geçmiş atıksu için bu oran 1.8-1.9 arasındadır. Çökebilir katılar, önemli miktarda biyolojik olarak parçalanamayan organik madde içerirler. Bu yüzden KOİ/BOİ oranının ön çökeltim işleminden geçmiş atıksularda ham atıksulara göre daha düşük olması beklenebilir. KOİ/BOİ arasındaki bu oran atıksu biyolojik arıtma tesisinin kademelerinde ilerledikçe genellikle artar. Çünkü biyolojik olarak parçalanabilen organik madde bozunur ve bu nedenle oksijen kullanımı azalır (Mara ve ark, 2003).

Atıksuyun AKM değeri atıksuyun kirlilik derecesi hakkında bilgi verir. AKM analizi çökeltim havuzlarının dizaynında kullanılır. AKM analizi ön çökeltim havuzlarında çökebilir katılar giderildikten sonra kalan askıda katı maddelerin miktarının belirlenmesinde kullanılır. Bu miktar ile biyolojik arıtma birimlerine gidecek olan yük belirlenebilir. AKM değeri arıtma ünitelerinin verimini belirlenmesinde ve aktif çamur proseslerindeki biyolojik katıların kontrolünde kullanılır (Sawyer ve ark, 2013).Ön çökeltim tanklarında %50-70

arasında askıda katı madde giderimi sağlanırken aynı zamanda %25-40 arasında BOI_5 giderimi de sağlanmış olur (Metcalf and Eddy, 1991). Literatürdeki AKM analizinin hızlı sonuç vermesinden dolayı, AKM analizinin BOI_5 analizinin yerine kullanılabilirliğini araştıran çalışmada bu iki parametre arasında yapılan regresyon analizi sonucunda belirtme katsayısı 0.471 şeklinde bulunduğu bildirilmiştir (Janna, 2016).

TOK, atıksulardaki organik kirlenmeyi gösteren önemli parametrelerden biridir. Tüm ülkelerde, toplam organik karbon analizi (TOK), atıksuların kontrolü için en uygun endeks olarak kabul edilmektedir. Toplam organik karbon, organik madde atomlarının yapısı hakkında bilgi sahibi olmadan, sulardaki organik karbon atomlarının varlığının dolaylı bir ölçütüdür (Visco ve ark, 2004). TOK'un en önemli özelliği hızlı olmasıdır. BOI veya KOI analizleriyle yapılabilecek olandan çok fazla sayıda ölçüm yapılmasına olanak tanır (Thomas ve ark, 1999; Bourgeois ve ark, 2001). Çizelde 1.8. 'de KOI , BOI ve TOK analizlerinin mukayesesi gösterilmiştir.

Son zamanlarda TOK analizi hızlı oluşu, analiz sonuçlarını doğru verisi, engelleyici maddelerin varlığından etkilenmeyişi ve analiz sonucu az miktarda tehlikeli atık üretişiyle KOI veya BOI_5 yerine alternatif bir su kalitesi parametresi olarak literatürde vurgulanmaktadır (Lee ve ark, 2016; Dubber ve ark, 2010; Bourgeois ve ark, 2001). Almanya'da belediyeye ait atıksu arıtma tesislerinde, atıksuyu değerlendirmek için KOI parametresi yerine TOK kullanılmaktadır. Atıksu arıtma tesisi çıkış suyuna ait TOK değeri, 4 ile çarpıldığında KOI limit değerini aşmıyorsa atıksuyun KOI 'sini deşarj limitlerine uygun olarak kabul etmektedirler (Waste Water Ordinance – AbwV, 2004). 91/271/EEC sayılı Avrupa Birliği Konseyi direktifine göre atıksuların deşarj limitlerine uygunluğu kontrol edilirken TOK ve BOI_5 parametreleri arasında bir ilişki kurulduğu takdirde BOI_5 yerine TOK parametresi kullanılabileceği belirtilmektedir (Official Journal of the European Communities, 1991).

Evsel atıksular için KOİ/TOK oranı genellikle 3 olarak kabul edilir. Bu oran evsel atıksuyun içeriğine bağlı olarak değişebilir (Mara ve Ark, 2003). Hodzic (2011) ham evsel atıksu ile yaptığı çalışmasında KOİ/ TOK oranını 3.1- 3.3 arasında tespit ettiğini bildirmiştir (Hodzic, 2011). Eckenfelder (1980) ise KOİ/TOK oranını 4.15 olarak tespit ettiğini bildirmiştir (Eckenfelder, 1980).

Birçok durumda TOK ölçümleri KOİ ve bazen BOİ₅ değerleri ile ilişkili olabilir. Karbon analizi için gerekli süre genellikle kısa olduğundan bu gibi ilişkiler arıtma tesisinin işletilmesinde son derece yararlıdır. Çizelge 1.9.'da evsel atıksular için KOİ, BOİ₅ ve TOK ilişkileri gösterilmektedir (Benefield, 1981).

Çizelge 1.8. KOİ, BOİ ve TOK Analizlerinin Kıyaslanması (Boyles, 1997).

Parametre	KOİ	BOİ	TOK
Kullanılan Oksidan	$K_2Cr_2O_7$ $Mn_2(SO_4)_3$	Mikroorganizmlar	O_2 $K_2S_2O_8$ Sıcaklık Yukarıdakilerin çeşitli katalizörlerle kombinasyonu
Kullanımı	Arıtma tesisi verimliliği ve su kalitesinin hızlı ve sık olarak izlenmesi	Arıtma tesisi prosesini ve organik bileşiklerin alıcı suların çözünmüş oksijen içeriği üzerindeki etkilerini modelleme	Numunelerde toplam organik karbon miktarını ölçme
Analizin Tamamlanma Süresi	2-3 saat	5 gün	Birkaç dakikadan bir kaç saate
Hassasiyet	%5-10 nispi standart sapma(bu yüzde numuneler askıda katı madde içerdiği daha da artabilir)	%15 nispi standart sapma (hassas sayılmaz)	%5-10 nispi standart sapma(bu yüzde numuneler askıda katı madde içerdiği daha da artabilir)
Avantajlar	Kısa analiz süresi Toksik maddeler oksidanı etkilemez Giriş ve çıkış atıksuyunda KOİ	Uygun aşı ile doğal ortamdaki gibi seyrederek	Kısa analiz süresi BOİ ile ilişkilendirilebilir ancak KOİ kadar ilişkili değildir

	değerindeki değişiklikler BOİ sonuçlarıyla paralel olabilir		
Dezavantajlar	Klorür girişi Bazı organik bileşikler tamamen okside olmaz	Zehirli maddeler mikroorganizmaları öldürür Mikroorganizmalar atıksudaki tüm materyalleri okside etmez	Pahalı ekipman gerektirir Bazı organik bileşikler tamamen okside olmaz Oksijen talebini değil, toplam organik karbonu ölçer

Çizelge 1.9. Belirli Evsel Atıksuların Organik Karbon ve Oksijen İhtiyacı (Benefield, 1981).

	BOİ₅	KÖİ	TOK	BOİ₅/TOK	KÖİ/TOK
Ham	-	136	41	-	3.32
	-	-	-	1.39	-
	-	-	-	1.88	-
	-	230	54	-	4.26
	105	304	65	1.63	4.68
	92	264	70	1.32	3.76
	84	235	57	1.47	4.12
	76	227	49	1.55	4.64
	89	263	61	1.46	4.32
	72	228	55	1.31	4.14
Birinci Çökeltim Çıkışı	68	299	51	1.33	5.85
	66	220	61	1.08	3.60
	59	200	58	1.02	3.45
	50	161	44	1.14	3.66
	57	197	54	1.06	3.65
	46	146	46	1.00	3.19
Son Çökeltim Çıkışı	16	85	34	0.47	2.50
	19	95	38	0.50	2.50
	20	85	33	0.61	2.58
	11	77	30	0.37	2.56
	14	81	40	0.35	2.02
	11	78	35	0.31	2.23
	-	-	-	0.20	-
	-	-	-	0.69	-

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bhat ve arkadaşları (2003), ham petrol işleme rafinerisinden gelen arıtma tesisi çıkış sularında KOİ, BOİ ve TOK parametreleri arasında ilişkiyi araştırmışlardır. KOİ, BOİ ve TOK deneyleri için kullanılan numunelerin pH'larını 7'ye ayarlamışlardır. Analizlerden elde ettikleri verilerle, en küçük kareler metodunu kullanarak üstel, karesel ve kübik modeller kurmuşlardır.

BOİ ve TOK arasında kurdukları modeller sırasıyla üstel, karesel ve kübik modeller olmak üzere,

$$BOİ = 1.813(TOK)^{0,4244},$$

$$BOİ = -0.000364(TOK)^2 + 0.316(TOK) + 1.6887,$$

$$BOİ = \frac{2}{154} \times 10^{-5}(TOK)^3 + 0.012299(TOK)^2 - 0.1399(TOK) + 4.986$$

şeklindedir. Modeller arasından, tahmin edilen BOİ değerlerinde ortalama hata en düşük olan (%11.524) üstel model tavsiye edilmiştir.

BOİ ve KOİ arasındaki ilişkiyi gösteren iki model kullanılmışlardır. Bunlar sırasıyla üstel ve kübik modelleri olmak üzere,

$$BOİ = 0.386(KOİ)^{0,7645}$$

$$BOİ = 3.376E - 7(KOİ)^3 + 6.82E - 4(KOİ)^2 + 3.96E - 4(KOİ) + 4.822$$

şeklindedir. Sonuç olarak BOİ ve KOİ arasında, tahmin edilen BOİ değerlerinde daha az hataya ve standart sapmaya sahip olması nedeniyle kübik model tercih ettiklerini bildirmişlerdir.

Nutt ve Arkadaşları (2013), arıtma kapasiteleri, teknolojileri ve bulundukları iklimleri farklı olan iki atıksu arıtma tesisi için, her birine özgü BOİ₅ ve TOK parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. BOİ₅ ve TOK

parametreleri arasında bir korelasyonun olup olmadığını belirlemek için grafikler çizmişler ve bu ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını bulmak için ise t testini kullanmışlardır.

Tesislerden biri olan Oceanside Su Kirliliği Kontrol Tesisinin ön çökeltim ve son çökeltim havuzlarının çıkışlarından haftada bir olmak üzere 24 saatlik kompozit numuneler aldıklarını, BOI_5 ve TOK analizlerini yaptıklarını bildirmişlerdir. Ön çökeltim için bu analiz sonuçlarıyla grafik çizip belirtme katsayısını 0.0132 olarak bulduklarını ve t testi esas alındığında BOI_5 ve TOK parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyonun olmadığını tespit etmişlerdir. Son çökeltim için analiz sonuçlarıyla da grafik çizip eğimi negatif, belirtme katsayısını ise 0.0047 olarak bulduklarını ve t testi esas alındığında BOI_5 ve TOK parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyonun olmadığını tespit etmişlerdir. Ön çökeltim ve son çökeltim veri setlerini birleştirerek grafik çizip belirtme katsayısını 0.8138 bulduklarını ve t testi esas alındığında BOI_5 ve TOK parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir.

Tesislerden bir diğeri olan Quispamsis Atıksu Arıtma Tesisinin, ham ve çıkış suyundan günlük olmak üzere anlık numuneler alındığını ve bu numunelerle BOI_5 ve TOK parametrelerinin analizlerinin yapıldığını bildirmişlerdir. Ham atıksuya ait bu analiz sonuçlarıyla grafik çizip belirtme katsayısını 0.3778 olarak bulduklarını ve t testi esas alındığında BOI_5 ve TOK parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyonun olduğunu tespit etmişlerdir. Çıkış suyuna ait analiz sonuçlarıyla da grafik çizip belirtme katsayısını 0.02137 olarak bulduklarını ve t testi esas alındığında BOI_5 ve TOK parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyonun olmadığını bildirmişlerdir. Ham atıksu ve çıkış suyu veri setlerini birleştirerek grafik çizip belirtme katsayısını 0.703 olarak bulduklarını ve t testi esas alındığında BOI_5 ve TOK parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyonun olduğunu tespit etmişlerdir.

Abdalla ve arkadaşları (2014), Mısır'daki farklı tiplerde ve kapasitelerde olan 8 farklı evsel atıksu arıtma tesisinden gelen ham atıksudaki KOİ ve BOİ₅ parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Arıtma tesislerinden alınan ham atıksuların BOİ₅ ve KOİ değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için regresyon analizini kullandıklarını bildirmişlerdir. BOİ₅ ve KOİ' nin aralarında pozitif doğrusal bir korelasyonun olduğunu tespit etmişlerdir. Çizelge 2.1.'de araştırma sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Atıksu Arıtma Tesislerine Ait Regresyon Denklemleri

Atıksu Arıtma Tesisleri	Regresyon Denklemleri ve Belirtme Katsayıları
Arab Abu Saed Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.478x + 28.50$ $R^2 = 0.943$
Qalioub Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.457x + 121.4$ $R^2 = 0.805$
Six of October Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.507x + 16.33$ $R^2 = 0.929$
Hanoville Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.427x + 31.37$ $R^2 = 0.64$
El Zarka Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.566x + 60.63$ $R^2 = 0.845$
El Gamalia Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.564x + 38.37$ $R^2 = 0.832$
Eskan Mubarek Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.601x + 0.874$ $R^2 = 0.764$
Bani Obeid Atıksu Arıtma Tesis	$y = 0.555x + 54.04$ $R^2 = 0.983$

Dubber ve Arkadaşları (2010), KOİ deneyinin, atıksu izlemede, atıksu arıtma tesisi dizaynında, modellemesinde ve işletilmesinde yaygın bir şekilde

kullanıldığını ve bu kullanım sonucunda ortaya tehlikeli atıkların çıktığını vurgulamışlardır. Bu tehlikeli toksik atıkların minimize edilmesi için, arıtma performansının izlenmesinde KOİ analizi yerine TOK analizinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Güneybatı İrlanda bölgesindeki 11 farklı evsel atıksu arıtma tesisinden giriş ve çıkış suyu numuneleri almışlardır.

Bu numuneler ile KOİ, BOİ₅ ve TOK analizlerini yaptıklarını belirtmişlerdir. Analizler sonucunda elde ettikleri verilerle KOİ, BOİ₅ ve TOK arasındaki ilişkileri saptamak için önce regresyon analizini kullanarak denklem oluşturmuş daha sonra da aralarında nasıl bir ilişki olduğunu bulmak için korelasyon analizi yapmışlardır. Analiz sonucunda, KOİ, BOİ₅ ve TOK parametreleri arasında önemli doğrusal ilişkiler olduğunu tespit etmişlerdir. Bu ilişkiler Çizelge 2.2.'de gösterilmekte olup, arıtma performansının izlenmesinde KOİ analizi yerine TOK analizinin güvenilir bir şekilde kullanılabileceği sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir.

Çizelge 2.2. Parametreler Arasındaki İlişkiler

İlişki	Korelasyon katsayısı	Regresyon denklemi	PI	r^2	Eğim	Kesim Noktası
Ön Çökeltim Girişi BOİ ₅ : TOK	$r = 0.963$ $p = 0.000$	$BOİ_5 = 1.68 \times TOK + 23.7$	± 35.66	92.8 %	1.68 ± 0.375 $p = 0.000$	23.7 $p = 0.219$
Çıkış suyu; BOİ ₅ : TOK	$r = 0.333$ $p = 0.347$	—	—	—	—	—
Ön Çökeltim Girişi KOİ: TOK	$r = 0.959$ $p = 0.000$	$KOİ = 3.00 \times TOK + 49.2$	± 67.26	92 %	3.00 ± 0.71 $p = 0.000$	49.2 $p = 0.181$
Çıkış suyu; KOİ: TOK	$r = 0.820$ $p = 0.002$	$KOİ = 2.99 \times TOK + 7.25$	± 14.04	67.2 %	2.99 ± 1.55 $p = 0.002$	7.25 $p = 0.338$
Ön Çökeltim Girişi BOİ ₅ : KOİ	$r = 0.984$ $p = 0.000$	$BOİ_5 = 0.589 \times KOİ - 11.3$	± 27.5	96.9 %	0.589 ± 0.0786 $p = 0.000$	-11.3 $p = 0.432$
Çıkış suyu; BOİ ₅ : KOİ	$r = 0.490$ $p = 0.151$	—	—	—	—	—

Hill ve Arkadaşları (1980), New York şehrinin Onondaga ilçesinde yer alan farklı endüstrilere ait atıksulardaki KOİ, BOİ₅ ve TOK parametreleri arasında bir ilişki bulabilmek için kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. KOİ, BOİ₅ ve TOK verilerini 1973'ten 1977'nin ortalarına kadar toplanan örneklerle yapılan analizlerden elde ettiklerini bildirmişlerdir. KOİ, BOİ₅ ve TOK parametreleri arasındaki ilişkileri ortaya koyabilmek için regresyon analizi yapmışlardır.

BOİ₅ ve TOK parametreleri için yapılan regresyon analizleri sonucunda, bazı endüstriler hariç doğrusal regresyon katsayılarının % 99 anlamlılık düzeyinde olduğunu, BOİ₅ ve KOİ parametreleri için yapılan regresyon analizlerin sonucunda ise bazı endüstriler hariç doğrusal regresyon katsayılarının %99 anlamlılık düzeyinde olduğunu ve son olarak TOK ve KOİ parametreleri için yapılan regresyon analizleri sonucunda, bazı endüstriler hariç doğrusal regresyon katsayılarının %99 anlamlılık düzeyinde olduğunu tespit etmişlerdir. Eğer, regresyon analizinde fazla sayıda veri kullanılırsa ve analiz sonucunda kendi çalışmalarında olduğu gibi yüksek belirtme katsayıları elde edilirse sadece bir tane oksijen ihtiyacını belirleyen parametrenin kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Whitehead (1976), kümes hayvancılığına ait atık suların içeriğinin bir göstergesi olarak TOK analizinin yararlılığını belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Kümes hayvanı işleme tesisinden gelen atıksuyla KOİ, BOİ₅ ve TOK analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu atıksular hem ham, hem de tesisin farklı noktalarından aldıkları atıksu numunelerinden meydana geldiğini bildirmişlerdir. Elde ettikleri verilerle KOİ, BOİ₅ ve TOK parametreleri arasındaki ilişkileri ortaya koymak için regresyon analizi yapmışlardır. Ham atıksu için regresyon denklemlerinin ve belirtme katsayılarının,

$$BOİ_5 = 650 + 2.51 \times TOK / R^2 = 0.827,$$

$$KOİ = 584 + 4.80 \times TOK / R^2 = 0.92$$

Stabilizasyon havuzlarının çıkışından alınan atıksu için regresyon denklemleri ve belirtme katsayılarının ise,

$$BOİ_5 = -89 + 3.47 \times TOK / R^2 = 0.69,$$

$$KOİ = -5 + 4.59 \times TOK / R^2 = 0.80$$

şeklinde olduğunu ve dolayısıyla KOİ, BOİ₅ ve TOK parametreleri arasında önemli bir korelasyon olduğunu tespit etmişlerdir. Ham ve arıtılmış çıkış suyuyla TOK analizi yapılarak tesisin BOİ₅ etkinliğinin hızlı bir şekilde belirlenebileceği bildirmişlerdir.

Bristol ve Arkadaşları (2001), belirli bir kağıt imalat atıksuyuna ait KOİ ve TOK parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Kağıt imalat atıksu arıtma tesisinden, 33 günlük bir süre zarfında, birinci çökeltimin girişinden, birinci çökeltimin çıkışından ve son çıkıştan günde bir kez 3'lü kompozit numuneler ve havalandırma tankının içinden de anlık numuneler aldıklarını bildirmişlerdir. Alınan numuneler ile KOİ, TOK ve AKM analizlerini yapmışlardır. Ek olarak, BOİ analizini ise yukarıda bahsi geçen her bir bölümünün çıkışından aldıkları numunelerle yaptıklarını belirtmişlerdir. KOİ ve TOK parametreleri arasındaki ilişkileri ortaya koymak için elde ettikleri verilerle regresyon analizi yapmışlardır ve ayrıca numune aldıkları her bir nokta için KOİ/TOK oranlarını bildirmişlerdir. Bu oranlar; ön çökeltim girişi için 3.24, ön çökeltim çıkışı için 3.1, son çıkış için 3.04 ve havalandırma tankı için 2.63 şeklindedir.

Hodzic (2011), İsveç'te 31 Aralık 2012'den itibaren Civa kullanımını yasaklayan yeni bir yasa çıkarıldığı belirtmiştir. Bu yasa gereğince, belediyelere ait evsel atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde KOİ analizinde civa gibi tehlikeli atıkların üretilmesinden dolayı, KOİ analizi yerine TOK deneyinin kullanılabilirliğini araştırmıştır. TOK ve KOİ analizlerinin, atıksudaki organik kirleticileri ölçmek için kullanılan 2 analiz olduğunu ve TOK'un KOİ'ye potansiyel bir alternatif olduğunu belirtmiştir. Enköping belediyesinin 4 atıksu

arıtma tesisinden gelen toplam 26 numunenin analizlerinin yapıldığını belirtmiştir. KOİ/ TOK oranını 3.1- 3.3 arasında tespit edildiğini ve KOİ analizinin TOK analizi ile değiştirebileceğini bildirmiştir.

Ademoroti (1986), çeşitli atıksulara ait KOİ değerlerinden BOİ değerlerini tahmin etmek amacı ile regresyon analizi sonucunda tahmin modelleri kurduğunu bildirmiştir. Elde ettiği evsel ham atıksuya, kümes hayvancılığı ham atıksuyuna ve bira fabrikası ham atıksuyuna ait tahmin modelleri sırasıyla,

$$KOİ=1.64* BOİ_5 + 11.36,$$

$$KOİ=1.45* BOİ_5+ 55.7,$$

$$KOİ=2.32* BOİ_5+ 46.2 \text{ şeklinde olduğunu bildirmiştir.}$$

El-Gawad ve Arkadaşları (2011), Kahire şehrindeki 4 devlet hastanesinden çıkan atıksuyun alıcı ortamdaki etkisini değerlendirmek amacıyla, 2010 yılında atıksuyun bakteriyolojik ve fizikokimyasal niteliklerini araştırmışlardır. Atıksuyun organik madde içeriğini karakterize etmek için BOİ₅ ve KOİ parametrelerinin yaygın olarak kullanılmasından dolayı atıksuyun biyolojik olarak parçalanabilirliğini hesapladıklarını bildirmişlerdir. Ham hastane atıksuyuna ait KOİ/ BOİ₅ oranını 2.5-2.92 aralığında bulduklarını bildirmişlerdir. Hastane atıksuyunun içerdiği organik maddelerin biyolojik olarak parçalanabilirliğinin, evsel atıksulara göre düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer hastaneler için geçerli olmamakla birlikte, araştırma sonuçlarının hastanelere ait atıksu kalitesinin, evsel atıksu kalitesine benzer olduğu ve belediyeye ait kanalizasyon şebekesine deşarj edilmesinin en iyi yaklaşım olduğunu bildirmişlerdir.

Mesdaghinia ve Arkadaşları (2015), arıtma sistemlerinin tasarımında ana parametrelerden birinin kirlilik yükü miktarı olduğunu belirterek, İran'ın başkenti Tahran'daki 9 atıksu arıtma tesisinin 2007 ve 2013 yılları arasındaki aylık dataalarını kullanarak atıksu özelliklerinin kişi başına düşen kirlilik yüklerini tahmin ettiklerini bildirmişlerdir. Kişi başına düşen kirlilik yükü değerlerini toplanan ham

atıksudan, nüfus ve parametrelere ait konsantrasyon değerlerinden hesapladıklarını bildirmişlerdir. Tahmini kişi başına düşen kirlilik yükleri BOİ₅ için 32.96, KOİ için 49.25 ve AKM için 37.31g/kişi.gün olarak tespit etmişlerdir. Bu değerlerle regresyon modelleri kurduklarını bildirmişlerdir. Tahmini BOİ₅ ile KOİ, tahmini AKM ile BOİ₅ ve tahmini AKM ile KOİ arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemleri ve regresyon katsayıları sırasıyla,

$$BOİ_5 = 0.66 \times KOİ + 0.16 / R^2 = 0.74$$

$$AKM = 1.03 \times BOİ_5 + 3.61 / R^2 = 0.66$$

$$AKM = 0.76 \times KOİ - 0.15 / R^2 = 0.60$$

şeklinde tespit etmişlerdir. Bu ilişkiler atıksu arıtma tesisleri dizayn edilirken kullanıldığı takdirde, bir parametreden diğer parametreyi tahmin etmede yarar sağlayabileceğini bildirmişlerdir.

Lee ve Arkadaşları (2016), BOİ₅ veya KOİ analizi, su sistemlerinde organik kirleticiler maddelerin yanı sıra atık su arıtma tesislerinin verimliliğini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmakta olduğunu ancak her iki analiz yönteminde de kesin olmayan, zaman alıcı ve kimyasal atık üretimi gibi kısıtlamalar bulunduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, organik kirleticiler için TOK analizini, BOİ₅ veya KOİ analizi yerine alternatif bir analiz olarak düşündüklerini bildirmişlerdir. Güney Kore’de nehirler ve göllerin 2010-2014 yılları arası 5 yıllık su kalitesi izleme verilerini kullanarak BOİ₅, KOİ ve TOK parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Nehirler için 114 ve göller için 49 veri ile, BOİ₅ ile TOK ve KOİ ile TOK parametreleri arasında korelasyon ve regresyon analizi yaptıklarını bildirmişlerdir.

Göller için BOİ₅ ile TOK arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda korelasyon katsayısını (r) 0.66(< 0.05), KOİ ile TOK için 0.75(< 0.05), nehirler için BOİ₅ ile TOK arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda korelasyon

katsayısını 0.87(< 0.05), KOİ ile TOK arasında korelasyon katsayısını 0.93(< 0.05) olarak bulduklarını bildirmişlerdir.

Nehirler için BOİ₅ ile TOK arasında ve KOİ ile TOK arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemleri ve belirtme katsayıları sırasıyla,

$$BOİ_5 = 0.799TOK - 0.443 / R^2 = 0.75,$$

$$KOİ = 1.586TOK + 0.374 / R^2 = 0.87 \text{ şeklindedir.}$$

Göller için BOİ₅ ile TOK arasında ve KOİ ile TOK arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemleri ve belirtme katsayıları sırasıyla,

$$BOİ_5 = 0.558TOK + 0.148 / R^2 = 0.44,$$

$$KOİ = 1.475TOK + 0.283 / R^2 = 0.57 \text{ şeklindedir.}$$

Göllere kıyasla nehirlerde daha iyi ilişkiler gözlediklerini, KOİ yerine TOK analizinin yapılabileceğini ancak bu durumun daha çok veri ve çalışmayla desteklenmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Janna (2016), çalışmasında Al-Diwaniyah şehrindeki atıksu arıtma tesisinin performansını ulusal standartlara göre değerlendirmeyi amaçladığını bildirmiştir. Ocak 2011 ile Temmuz 2012 ayları arasında tesisin giriş ve çıkış sularından alınan numunelerle ayda bir olmak üzere, pH, BOİ₅, KOİ, AKM gibi çeşitli parametrelerin analizlerini yapıldığını bildirmiştir. Yapılan analizler sonucu , BOİ₅/KOİ oranını tesise ait ham giriş atıksuları için 0.4-0.7 aralığında tespit ettiğini ve biyolojik arıtma kullanılabileceğini bildirmiştir. AKM analizinin hızlı sonuç vermesinden dolayı, BOİ₅ analizi yerine kullanılabilirliğini öğrenmek için bu iki

parametre arasında regresyon analizi yaptığını bildirmiştir. Analizin sonucu regresyon denklemi ve belirtme katsayısı sırasıyla,

$$AKM = 0.340BOI_5 + 147.4 / R^2 = 0.471 \text{ şeklinde tespit etmiştir.}$$

Jonal ve Arkadaşları (2014), Jalandhar atıksu arıtma tesisinde BOI_5 ve diğer parametreler arası verimlilik değerlendirmesi yapmayı ve parametreler arasında matematiksel ilişkiler ortaya koymayı amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda arıtma tesisinin giriş ve çıkışından 16 atıksu numunesi alarak bu numunelerle KOI , AKM , BOI_5 ve Amonyaklı azot deneylerini yaptıklarını bildirmişlerdir. BOI_5 parametresinin diğer parametrelerle ilişkisini ortaya koymak için regresyon analizi yaptıklarını bildirmişlerdir. Uygun bir arıtma sisteminin seçilmesinde BOI_5/KOI oranının bilinmesinin önemini vurgulayarak ham atıksu için bu oranı 0.3 olarak tespit etmişlerdir. Ham ve arıtılmış atıksu için, BOI_5 ile AKM arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemleri ve belirtme katsayıları sırasıyla,

$$BOI_5 = -0.0694AKM + 258.73 / R^2 = 0.0009$$

$$BOI_5 = -0.1052AKM + 31.906 / R^2 = 0.0387$$

şeklindedir. BOI_5 ile AKM arasındaki ilişkilerin zayıf olduğunu bildirmişlerdir. Ham atıksular için bu zayıf ilişkiye sebep olarak AKM analizini sonucunda elde edilen verilerin bazılarının diğerlerine göre yüksek konsantrasyonlarda oluşunu göstermişlerdir. Bu yüksek konsantrasyonlara, genel olarak atıksuya arazi yüzeyinden ve kanalizasyondan karışan inorganik maddelerin sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Ham atıksu için, BOI_5 ile KOI arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemi ve belirtme katsayısı,

$KOI = 0.4013BOI_5 + 486.07 / R^2 = 0.0639$ şeklindedir.

Wilson (1997), yüksek mukavemette olan atıksuya sahip bir gıda işleme tesisinin arıtma veriminin değerlendirilmesi için, hızlı olmasından dolayı TOK analizinin kullanımını araştırdığını bildirmiştir. Tesisin arıtma veriminin belirlenmesi için TOK analizinin kullanıldığını, BOI_5 ve KOI analizleri ile karşılaştırıldığını bildirmiştir. Arıtma tesisinin farklı kısımlarından aldığı atıksu numuneleriyle KOI , TOK ve BOI_5 analizleri yaptığını ve bu analiz sonuçlarıyla parametreler arası ilişkileri ortaya koymak için regresyon analizi yaptığını bildirmiştir.

Taze ham atıksu, 24 saatlik ham atıksu ve çıkış atıksuyu için, BOI_5 ile KOI arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemleri ve belirtme katsayıları sırasıyla,

$$BOI_5 = 0.5922KOI + 407.2 / R^2 = 0.6809$$

$$BOI_5 = 0.7948KOI + 818.1 / R^2 = 0.5172$$

$$BOI_5 = 1.194KOI + 280.3 / R^2 = 0.2404$$
 şeklindedir.

Taze ham atıksu, 24 saatlik ham atıksu ve çıkış atıksuyu için, BOI_5 ile TOK arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemleri ve belirtme katsayıları sırasıyla,

$$BOI_5 = 0.249TOK + 37.26 / R^2 = 0.8519$$

$$BOI_5 = 1.337TOK + 16.57 / R^2 = 0.7259$$

$$BOI_5 = 1.385TOK - 196.4 / R^2 = 0.8967$$
 şeklindedir.

Taze ham atıksu, 24 saatlik ham atıksu ve çıkış atıksuyu için, TOK ile KOI arasında yapılan regresyon analizi sonucunda regresyon denklemleri ve belirtme katsayıları sırasıyla,

$$uTOK = 0.483KOİ + 226.3 / R^2 = 0.8968$$

$$TOK = 0.667KOİ + 416.0 / R^2 = 0.7208$$

$$TOK = 1.040KOİ + 250.7 / R^2 = 0.3893 \text{ şeklindedir.}$$





3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Ham Evsel Atıksu

Bu çalışmada kullanılan atıksu, 2016 yılının Şubat ve Aralık ayları arasında 10 ay süresince çeşitli periyotlarla Adana Büyükşehir Belediyesine ait evsel atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Atıksu, kaba ızgaradan sonra giriş pompa istasyonunun çıkışından, otomatik numune alma cihazı vasıtasıyla 24 saatlik kompozit numuneler halinde alınmıştır. Arıtma tesisinden alınan numuneler, Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarına getirilmiş ve analizler yapılmıştır.

3.1.2. Filtre Edilmiş Evsel Atıksu

Adana Büyükşehir Belediyesine ait evsel atıksu arıtma tesisinden temin edilen ham atıksu, 1.2 µm gözenek çapındaki Whatman GF/C ile filtre edilmiştir. Filtre edilen bu atıksu literatürde olduğu gibi çözünmüş maddeleri ifade etmektedir (Henze ve ark, 2002).

3.2. Metod

3.2.1. Analitik Yöntemler

Bu çalışmada ham atıksular ve filtre atıksular için BOI_5 deneyleri VELD marka sensörler ile, filtre atıksular için TOK deneyleri Skalar marka TOC/TN Analiz cihazı ile, ham atıksular için AKM deneyleri (SM 2540 D.) metodu ile, ham atıksular ve filtre atıksular için KOI deneyleri (SM 5220) metodu ile yapılmıştır. pH ve sıcaklık ölçümleri WTW 315i marka pH metre ile elektriksel iletkenlik ölçümleri ise Cyberscan marka, CON 410 model ile yapılmıştır. BOI_5

deneylerinde, ölçek ve dolayısıyla numune hacmi seçiminde, KOİ ölçümleri baz alınarak tahmini BOİ₅ değeri belirlenmiştir. Tahmini BOİ₅ değeri 0-90 mgO₂/L ise numunenin hacmi 400 ml, 0-250 mgO₂/L ise numunenin hacmi 250 ml, 0-600 mgO₂/L ise numunenin hacmi 150 ml, 0-900 mgO₂/L ise numunenin hacmi 100 ml olarak seçilmiştir. Bu çalışmada deneyler Standart Metodlara göre yapılmıştır (Rice ve ark, 2012)

3.2.2. İstatistiksel Yöntemler

Bu çalışmada yapılan her bir deney en az 3 tekrarlı yapılmış olup, aykırı değerler her bir veri setinden Dixon Q-testi uygulanarak çıkartıldıktan sonra kalan deney sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Dixon Q-testi, deney sonuçları arasında aykırı bir değer olup olmadığını belirlemek için kullanılan istatistiksel bir testtir. Bu testin hipotezi aşağıdaki gibi kurulmaktadır:

H0: Veri setinde aykırı değer yoktur.

H1: Veri setinde aykırı değer vardır.

Eğer $Q_{hesap} > Q_{tablo}$ ise H0 reddedilir ve bu veri setinde aykırı değer olduğu anlamına gelir. Bu test şüpheli değer ve en yakın değer ile en yüksek ve en düşük değerler arasındaki farkın oluşturduğu bir oranı karşılaştırmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Q_{hesap} = \frac{|\text{şüpheli değer} - \text{en yakın değer}|}{(\text{en büyük değer} - \text{en küçük değer})}$$

Q_{hesap} değerleri iki uçlu test için ($p = 0.05$) Çizelge 3.1.'de gösterilmektedir. Eğer, $Q_{hesap} > Q_{tablo}$ ise şüpheli değer in reddi garantilenmektedir (Hanrahan, 2013).

Çizelge 3.1. İki uçlu bir test için kritik Q değerleri ($p = 0.05$) (Hanrahan, 2013).

Örnek Veri Sayısı	Q_{Tablo}
3	0.970
4	0.829
5	0.710
6	0.625
7	0.568
8	0.526
9	0.493
10	0.466

Parametreler arasındaki ilişkiyi görebilmek için deney sonuçlarından elde edilen verilerle, Excel programı kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi sonucunda tahmin modelleri(basit doğrusal regresyon modeli) kurulmuştur. % Hatalar ise aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Hata} = \left| \frac{\text{Ölçülmüş değer} - \text{Tahmin edilen değer}}{\text{Ölçülmüş değer}} \right| \times 100$$



4. BULGULAR VE TARTIŞMA**4.1. Giriş**

Adana, TÜİK'in 2016 tarihli, adrese dayalı kayıt sistemi verilerine göre 2.201.670 kişilik yerleşik bir nüfusa sahiptir (TÜİK, 2016). Seyhan, Yüreğir, Çukurova ve Sarıçam Adana'nın merkez ilçeleri olup, bu 4 ilçeden oluşan atıksular, kanallar vasıtasıyla toplanmaktadır. Bu atıksuların bir kısmı Doğu, bir kısmı da Batı atıksu arıtma tesislerine götürülmektedir. Adana Organize Sanayinin kendi arıtma tesisi olup merkez arıtma tesisleriyle ilişkisi bulunmamaktadır. Merkez arıtma tesislerinde evsel atıksulara, bir miktar endüstriyel atıksular karışmaktadır. Ancak bütün endüstrilerde atıksu arıtma tesisi varlığı mevcudiyetinden dolayı kısmen arıtılmış olarak deşarj edilmektedir. Aski' nin atıksuların kanalizasyon şebekesine deşarj yönetmeliğinde, kanalizasyon şebekesine deşarj edilecek atıksuların sağlaması gereken sınır değerleri Çizelge 4.1.' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Edilecek Atıksuların Sağlaması Gereken Sınır Değerler (ASKİ, 2005).

PARAMETRELER	ATIKSU ÖRNEĞİNDE İZİN VERİLEBİLİR MAKSİMUM DEĞER
Sıcaklık	40°C
pH	6.5-10
Askıda Katı Madde (AKM)	350 mg/L
Yağ-gres	250 mg/L
Katran ve petrol kökenli yağlar	50 mg/L
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	800 mg/L
Sülfat (SO_4^{-2})	1700 mg/L
Toplam Sülfür (S^{-})	2 mg/L
Fenoller	20 mg/L
Serbest klor	5 mg/L
Arsenik (As)	3 mg/L
Antimon (Sb)	3 mg/L
Toplam Siyanür (CN^{-})	10 mg/L
Toplam Kurşun (Pb)	3 mg/L
Toplam Kadmiyum (Cd)	2 mg/L
Toplam Krom (Cr)	5 mg/L
Toplam Civa (Hg)	0.2 mg/L
Toplam Bakır (Cu)	2 mg/L
Toplam Nikel (Ni)	5 mg/L
Toplam Çinko (Zn)	10 mg/L
Toplam Kalay (Sn)	5 mg/L
Toplam Gümüş (Ag)	5 mg/L
Toplam Azot (N)	60 mg/L
Toplam Fosfor (P)	20 mg/L
Klorür (Cl^{-2})	10.000 mg/L
Florür (F^{-2})	50 mg/L
Bor (B)	3 mg/L
Anyonik Yüzey Aktif Madde (deterjan)	Biyolojik olarak parçalanması mümkün olmayan yüzey aktif maddelerin deşarjı yasaktır
Renk	280-260 (Pt-Co)

4.2. Araştırma Bulguları

Bu çalışmada, Adana iline ait ham evsel atıksudaki KOİ, BOİ₅ ve AKM parametreleri ve filtre atıksudaki FKOİ, FBOİ₅, FTOK parametreleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu amaçla, KOİ, FKOİ, BOİ₅, FBOİ₅, FTOK ve AKM analizleri yapıp elde edilen analiz sonuçlarıyla, parametreler arasındaki oranlar hesaplanmıştır. Çizelge 4.2.' de KOİ, FKOİ, BOİ₅, FBOİ₅, FTOK ve AKM parametrelerine ait analiz sonuçları, Çizelge 4.3.'de parametreler arası oranlar, Çizelge 4.4.'de ise parametreleri karşılaştırmak için yapılan regresyon analizi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Adana Evsel Ham Atıksuyun Özellikleri

Numune No	pH	El (µS/cm)	BOİ ₅ (mg/L)	FBOİ ₅ (mg/L)	KOİ (mg/L)	FKOİ (mg/L)	FTOK (mg/L)	AKM (mg/L)
1	7.6	1748	305	171	710	222	150	262
2	7.7	2260	259	145	714	322	188	313
3	7.5	2420	324	160	714	279	173	282
4	7.4	1761	285	169	517	215	149	151
5	7.5	1867	259	148	455	165	161	150
6	7.5	1786	304	186	750	410	151	405
7	7.4	1482	212	154	500	254	132	126
8	7.5	1822	335	191	784	425	177	400
9	7.4	1303	190	162	436	245	135	75
10	7.4	1465	228	162	470	241	129	211
11	7.4	1192	203	178	346	262	125	95
12	7.6	1149	224	183	389	254	138	160
13	7.6	1220	343	207	506	278	145	199
14	7.6	1338	337	206	654	279	161	255
15	7.6	-	384	179	705	356	147	260
16	7.6	-	409	241	730	399	185	178
17	7.5	-	366	226	722	458	210	133
Ortalama	7.5	1629	292	180	594	297	156	215

Çizelge 4.3. Parametreler Arası Oranlar

Numune No	BOİ ₅ /KOİ	AKM/BOİ ₅	AKM/KOİ	FBOİ/FKOİ	FBOİ/FTOK	FKOİ/FTOK
1	0.42	0.85	0.36	0.77	1.14	1.48
2	0.36	1.20	0.43	0.45	0.77	1.71
3	0.45	0.87	0.39	0.57	0.92	1.61
4	0.55	0.52	0.29	0.78	1.13	1.44
5	0.56	0.57	0.32	0.89	0.91	1.02
6	0.40	1.33	0.54	0.45	1.23	2.71
7	0.42	0.59	0.25	0.60	1.16	1.92
8	0.42	1.19	0.51	0.44	1.07	2.40
9	0.43	0.39	0.17	0.66	1.20	1.81
10	0.48	0.92	0.44	0.67	1.25	1.86
11	0.58	0.46	0.27	0.67	1.42	2.09
12	0.57	0.71	0.41	0.72	1.32	1.84
13	0.67	0.58	0.39	0.74	1.42	1.91
14	0.51	0.75	0.38	0.73	1.27	1.73
15	0.54	0.67	0.36	0.50	1.21	2.42
16	0.56	0.43	0.24	0.60	1.30	2.15
17	0.50	0.36	0.18	0.49	1.07	2.18
Ortalama	0.50	0.73	0.35	0.63	1.16	1.90

Çizelge 4.4. Regresyon Analizi Sonuçları

x	y	Regresyon Denklemi	Korelasyon Katsayısı
KOİ	BOİ ₅	$y = 0.3477x + 85.542$	$r = 0.75$
AKM	KOİ	$y = 1.1146x + 354.59$	$r = 0.74$
AKM	BOİ ₅	$y = 0.2841x + 231.09$	$r = 0.41$
FTOK	FKOİ	$y = 2.2141x - 48.042$	$r = 0.62$
FTOK	FBOİ ₅	$y = 0.4831x + 104.99$	$r = 0.41$
FKOİ	FBOİ ₅	$y = 0.2066x + 118.93$	$r = 0.63$

4.3. Analiz Sonuçlarının Tartışılması

Bu çalışmada bulunun ham atıksu için KOİ, BOİ₅ ve AKM değerlerinin ortalaması sırasıyla 594, 292 ve 215 mg/L'dir. Adana evsel atıksuyunu yaptığımız çalışma ile sınıflandıracak olursak, Metcalf ve Eddy'nin (1991) evsel atıksuların bileşimi ile ilgili olarak oluşturdukları Çizelge 4.5.'e ve atıksuya ait analiz sonuçlarının ortalama değerlerine bakıldığında değerlerin orta konsantrasyon değerlerine yakın olduğunu görülmektedir. Metcalf ve Eddy'nin (1991) oluşturduğu bu tablo atıksular hakkında genel bir bilgi vermekte olup, yol gösterim amaçlıdır.

Çizelge 4.5. Ham Evsel Atıksuyun KOİ, BOİ₅ ve AKM Konsantrasyonları (Metcalf ve Eddy, 1991).

Kirlenici	Konsantrasyon (mg/L)		
	Zayıf	Orta	Kuvvetli
KOİ	250	500	1000
BOİ ₅	110	220	400
AKM	100	220	350

Henze ve arkadaşlarının (2008) , az miktarda endüstriyel atıksu karışmış ham evsel atıksuların tipik bileşimini verdiği Çizelge 4.6.'e ve Adana ham evsel

atıksuyunun ortalama KOİ, BOİ₅ ve AKM değerlerine birlikte bakıldığında, Adana evsel atıksuyunun ortalama KOİ ve AKM değerlerinin zayıf konsantrasyona ortalama BOİ₅ değerinin orta konsantrasyona yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.6. Az Miktarda Endüstriyel Atıksu Karışmış Ham Evsel Atıksuların Tipik Bileşimi (Henze ve ark, 2008)

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)		
	Zayıf	Orta	Kuvvetli
KOİ	500	750	1200
KOİ(Filtre KOİ)	200	300	480
KOİ(Askıda katı madde kaynaklı KOİ)	300	450	720
BOİ ₅	230	350	560
AKM	250	400	600

Literatürdeki değerlerle karşılaştırıldığı zaman, Adana evsel atıksularının daha güçlü bir karakterde olduğu görülmektedir. Türkiye'deki il ve ilçelere ait evsel atıksu arıtma tesislerinin ortalama KOİ, BOİ₅ ve AKM değerleri Adana iline ait değerlerle birlikte Çizelge 4.7.'da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Türkiye’deki İl ve İlçelere Ait Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinin Ortalama KOİ, BOİ₅ ve AKM Değerleri

İller ve İlçeler	KOİ (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	AKM (mg/L)	KAYNAK
Adana	-	170	160	Yüceer, 1991
Adana	446	345	262	Ersü, 2000
Adana	594	292	215	Bu çalışma
İzmir	424	202	250	Erdoğan ve ark, 2006
Tarsus	439	225	190	Erdoğan ve Ark.,2006
Antalya	381	252	266	Erdoğan ve Ark.,2006
Ankara	305	159	147	Erdoğan ve Ark.,2006
Isparta	423	251	158	Erdoğan ve Ark.,2006
İstanbul	410	180	215	Orhon ve Ark., 1997

Yapılan literatür araştırmalarında hem evsel atıksuların hem de endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atıksuların kontrol parametreleri arasındaki ilişkilerin çalışıldığı görülmüştür (Whitehead, 1976; Hill ve ark, 1980; Ademoroti, 1986; Wilson, 1997; Bristol ve ark, 2001; Bhat ve ark, 2003; Dubber ve ark, 2010; Hodzic, 2011; El-Gawad ve ark, 2011; Nutt ve ark, 2013; Abdalla ve ark, 2014; Johal ve ark, 2014; Mesdaghinia ve ark, 2015; Lee ve ark, 2016; Janna, 2016). Bu çalışmada ise, Adana atıksuları kontrol parametreleri arasındaki ilişkiler literatürle birlikte tartışılarak değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlar literatür bilgileriyle birlikte irdelenmiştir.

4.3.1. BOİ₅ İle KOİ Arasındaki İlişki

Çizelge 4.8.'de bu çalışmada ham atıksuyla yapılan BOİ₅ ve KOİ analizlerin sonuçları ve her bir numuneye ait BOİ₅/KOİ oranları verilmiştir.

Çizelge 4.8. Ham Atıksu İçin BOİ₅/KOİ oranları

NUMUNE NO	KOİ (mg/L)	BOİ ₅ (mg/L)	BOİ ₅ /KOİ
1	710	305	0.42
2	714	259	0.36
3	714	324	0.45
4	517	285	0.55
5	455	259	0.56
6	750	304	0.40
7	500	212	0.42
8	784	335	0.42
9	436	190	0.43
10	470	228	0.48
11	346	203	0.58
12	389	224	0.57
13	506	343	0.67
14	654	337	0.51
15	705	384	0.54
16	730	409	0.56
17	722	366	0.50
Ortalama	594	292	0.50

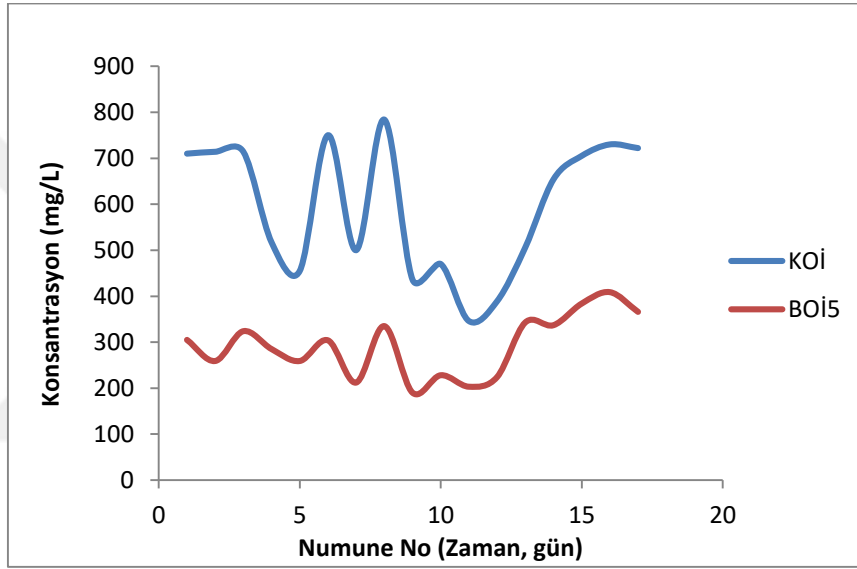
Bu çalışmada BOİ₅/KOİ oranı 0.36-0.67 aralığındadır. Ortalama BOİ₅/KOİ oranı 0.50 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.9.'da görüldüğü üzere, elde edilen bu oran literatürdeki oranlarla örtüşmekte ve literatürdeki oran aralıklarının arasında yer almaktadır. Bazı araştırmacılar bu oranları KOİ/BOİ₅ şeklinde vermektedir.

Bundan dolayı elde edilen oran, literatürdeki bilgilerle kıyaslanmasında kolaylık sağlasın diye KOİ/ BOİ₅ şeklinde de hesaplanmıştır. Çizelge 4.9.'da ham atıksular için literatür çalışmalarından elde edilen ulusal ve uluslararası oranlar, bu çalışmada elde edilen oran ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ulusal ve Uluslararası KOİ/ BOİ₅ ve BOİ₅/KOİ Oranları

BOİ ₅ /KOİ			KAYNAK
0.4-0.7			Janna, 2016
0.30			Johal ve ark, 2014
0.61			Mesdaghinia ve ark, 2015
0.70			Sazeh, 1993
0.71			Afshar, 1995
0.30-0.96			Abdalla ve Ark, 2014
0.30-0.80			Metcalf ve Eddy, 1991
0.50-1.00			Papadopoulos ve ark, 2001
0.40-0.80			Markantonatos, 1990
0.18-0.63			Orhon ve ark, 1997
0.47 (İzmir ili için)			Erdoğan ve ark, 2005
0.52 (Ankara ili için)			
0.51 (Tarsus ilçesi için)			
0.56 (Isparta ili için)			
0.65 (Antalya ili için)			
0.77			Ersü, 2000
0.36-0.67			Bu çalışma
KOİ/ BOİ ₅			KAYNAK
Yüksek: 2.5-3.5	Orta: 2.0-2.5	Düşük: 1.5-2.0	Henze ve ark, 2008
1.25-2.50			Aziz ve ark, 1979
2.07			Papadopoulos ve ark, 2001
1.48-2.76			Bu çalışma

BOİ₅ değeri arttıkça KOİ değerinin de arttığı bilinmektedir. Çünkü KOİ analizi, BOİ₅ analizine artı olarak, biyolojik olarak parçalanabilen ve parçalanamayan organik maddelerin parçalanması için gereken oksijen miktarının tümünü toplu olarak vermektedir. Şekil 4.1.' de çeşitli zaman aralıklarıyla alınan numunelerin KOİ ve BOİ₅ konsantrasyonları verilmiştir. Grafikte KOİ ve BOİ₅ konsantrasyonlarının değişimi ve aralarındaki ilişki de görülmektedir.



Şekil 4.1. KOİ ve BOİ₅ Konsantrasyonlarının Değişimi

BOİ₅/KOİ oranı, biyolojik olarak arıtılabilirliğin bir göstergesidir. Daha doğrusu kolayca ve yavaşça biyolojik olarak parçalanabilen organik maddenin kaba bir oranı olarak düşünülebilir (Orhon ve ark, 1997). Eğer BOİ₅/KOİ oranı 0.5 ve 0.5'den büyükse, biyolojik olarak kolayca arıtılabileceği düşünülür, eğer bu oran yaklaşık 0.3 ise bakteriler tarafından zor parçalanana ya da parçalanamayan organiklerin biyolojik arıtma tesisindeki varlığını göstermektedir (Metcalf ve Eddy, 1991). Ayrıca bu durumda ilk olarak biyolojik arıtma yapılamayacağından, bundan önce kimyasal arıtmanın yapılması gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Yüksek organik moleküllere sahip atıksulardaki bu oran 0.3'lere iner. Daha aşağısına

indiğinde ise örneğin yağ sanayinde olduğu gibi asitle parçalama işlemine tabi tutulduktan sonra biyolojik arıtmaya gönderilmektedir.

Bu çalışma sonucunda bulunan ortalama BOI_5/KOI oranına bakıldığında Adana evsel atıksuyunun biyolojik olarak kolayca arıtılabileceği söylenebilir. Ancak bazı günler bu oran 0.3-0.4 arasında değişmektedir. Bu düşük oranlar özel olarak değerlendirildiğinde, literatürdeki bilgilerin ışığında Adana evsel atıksuyundaki organik maddelerin parçalanmaya dayanıklı olması ya da atıksudaki bazı maddelerin organik madde kullanan bakterilerin inhibasyonuna yol açması gibi durumların söz konusu olabileceği akla gelmektedir. Çünkü BOI_5 ve KOI arasındaki fark bakteriyolojik olarak parçalanamayan organik maddeyi göstermektedir.

Literatürdeki oranlara bakıldığında, bu çalışmada olduğu gibi gerçek evsel atıksularla yapılan analizlerde, evsel atıksuyun doğası gereği tatmin edici net bir oran bulunmamaktadır. Tüm atıksular için spesifik bir oran BOI_5/KOI yoktur. Evsel atıksular için tatmin edici bir oranın bulunmamasının sebebi ise, elbette evsel atıksuların karakteristiğinin şehirden şehre, yıldan yıla, mevsimden mevsime, günden güne hatta saatten saate değişmesidir. Ancak bu değişimlere ilave olarak evsel atıksuya karışan endüstriyel atık suyun, miktar ve özelliklerine bağlı olarak da BOI_5/KOI oranında değişimler gözlenebilir. Bu yüzden yapılması planlanan ya da yapılmış olan atıksu arıtma tesisinin arıtacağı ya da arıtmakta olduğu atıksuyun BOI_5/KOI oranını belirlemek tesisin planlanmasında ve işletilmesinde oldukça önemlidir.

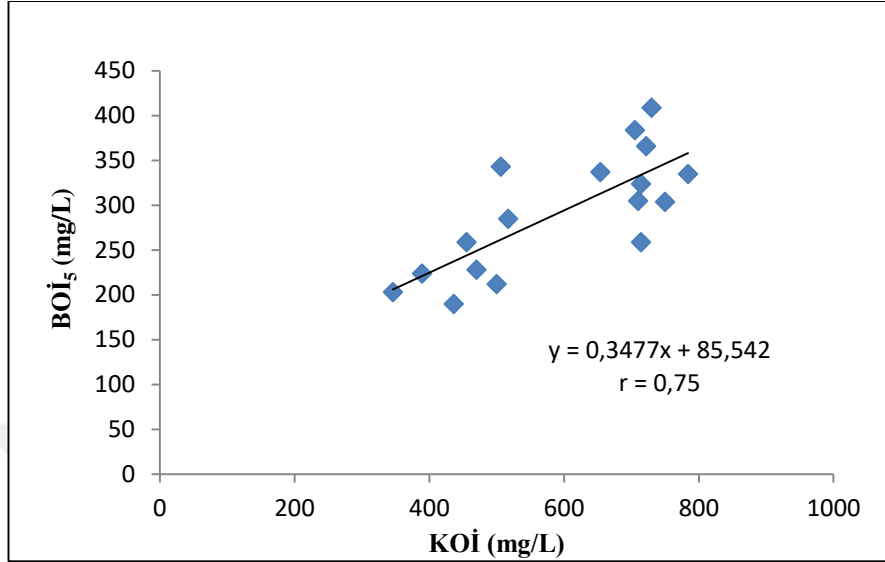
Evsel atıksu niteliğinde hazırlanmış sentetik atıksuya ait KOI ve BOI_5 değerleri ve BOI_5/KOI oranları Çizelge 4.10.' da gösterilmektedir. Sentetik atıksularla yapılan deneyler sonucu elde edilen BOI_5/KOI oranı, gerçek atıksularla yapılan deneyler sonucu elde edilen BOI_5/KOI oranlarından (Çizelge 4.9.) farklı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.10. Sentetik Atıksuya ait KOİ ve BOİ₅ Değerleri ve BOİ₅/KOİ Oranları

KOİ	BOİ	BOİ ₅ /KOİ	Kaynak
500	400	0.80	Yılmaz, 2015
440	370	0.84	Barwal ve ark, 2016

Endüstriyel atık atıksularda ise BOİ₅/KOİ oranı endüstrinin çeşidine göre değişmektedir. Farklı endüstrilere ait BOİ₅/KOİ oranları; mezbahana için 0.57, içki endüstrisi için 0.50, süt endüstrisi için 0.50, lastik endüstrisi için 0.66, deri endüstrisi için 0.10, tekstil endüstrisi için 0.48, un endüstrisi için 0.36 olduğu bildirilmektedir (Öztürk ve ark, 2005)

Bu çalışmada, Şekil 4.2.' de görüldüğü üzere, BOİ₅ ve KOİ arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi $BOİ_5 = 0.3477 \cdot KOİ + 85.542$, $r = 0.75$ ve ortalama % hata 13.09 olarak bulunmuştur. Regresyon analizi sonucunda, BOİ₅'deki değişimin %75'si KOİ tarafından açıklanır. Regresyon denkleminde KOİ sıfır iken, BOİ₅'in 85.54 olması beklenir. KOİ bir birim arttığında BOİ₅'in 0.34 birim artması beklenir. Adana ilinin ham evsel atıksuyuna ait KOİ ve BOİ₅ parametreleri arasında 0.75'lik bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin BOİ₅ ve KOİ Parametreleri Arasındaki İlişki

Metcalf ve Eddy'nin (1991) oluşturduğu Çizelge 4.5.'e bakıldığında orta derece konsantrasyona sahip tipik ham evsel atıksuyun KOİ değerinin 500 mg/L, orta derece konsantrasyona sahip tipik ham evsel atıksuyun BOİ₅ değerinin ise 220 mg/L olduğu görülmektedir. Metcalf ve Eddy'nin bu sınıflandırmasına göre Adana evsel atıksuyunun orta derece konsantrasyona sahip olduğu bilgisinden yola çıkarak, bu çalışmada elde edilen regresyon denkleminde KOİ yerine 500 değeri konulduğunda BOİ₅ değeri 259.39 olarak hesaplanmıştır.

Henze ve arkadaşlarının (2008) oluşturduğu Çizelge 4.6.'e bakıldığında zayıf derece konsantrasyona sahip, az miktarda endüstriyel atıksuyun karıştığı ham evsel atıksuyun KOİ değerinin 500 mg/L, orta derece konsantrasyona sahip az miktarda endüstriyel atıksuyun karıştığı ham evsel atıksuyun BOİ₅ değerinin ise 350 mg/L olduğu görülmektedir. Henze ve arkadaşlarının (2008) bu sınıflandırmasına göre Adana evsel atıksuyunun KOİ'sinin zayıf derece, BOİ₅'nin ise orta derece konsantrasyona sahip olduğu bilgisinden yola çıkarak, bu çalışmada

elde edilen regresyon denkleminde KOİ yerine 500 değeri konulduğunda BOİ₅ değeri 259.39 olarak hesaplanmıştır.

Adana ilinin ham evsel atıksuyuna ait KOİ ve BOİ₅ parametreleri arasında 0.75'lik bir ilişki tespit edilmiştir. Lakin bu çalışmada bulunan korelasyon katsayısı literatürdeki evsel atıksularla yapılan bazı çalışmalarda olduğu kadar yüksek değildir. Abdalla ve arkadaşları (2014) farklı şehirlerin ham evsel atıksuyuna ait KOİ ve BOİ₅ değerleri ile yaptıkları regresyon analizinde korelasyon katsayılarını 0.90, 0.97, 0.96, 0.91, 0.91, 0.89, 0.87, 0.80 olarak hesapladıklarını bildirmişlerdir.

Bu sonuçların çoğunluğu gibi daha yüksek r değerinin elde edilememesinin sebebi, bazı günlere ait KOİ analiz sonucunun yüksek olmasından ve bununla birlikte beklenen yükseklikte BOİ₅ analiz sonucunun olmamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Çizelge 4.2.'deki, BOİ₅ analiz sonuçları benzer hatta neredeyse aynı olan deney setlerine bakıldığında (2. ve 5. Deney seti) farklı KOİ analiz sonuçları dikkat çekmektedir. Bu setlere ait AKM analiz sonuçlarına bakıldığında ise yüksek AKM değerine sahip olan atıksu yüksek KOİ değerine de sahip olmaktadır. Böyle günlerde BOİ₅/KOİ oranı 0.3-0.4 arasında değişmektedir. O gün için düşük r değerine sebep olarak evsel atıksuya, endüstriyel atıksuyun karışması ihtimali gösterilebilir.

Bazı yağmurlu günlerde de, yüksek KOİ değerleri bulunmuştur ama yine de Adana evsel atıksuyunu temsil ettiği için bu setler regresyon analizi yapılırken ve oranlar hesaplanırken çıkarılmamıştır. Bu spesifik günlerde BOİ₅/KOİ oranı 0.4'e kadar düşmektedir. Atıksuyun yağmur suyu ile karışmasının olumsuz etkilere sebep olduğu bilinmektedir (Davis, 2015). Adana'da yağmur suları ve evsel atıksular, birleşik kanalizasyon sisteminde taşındığı için yollardan yağmur suları ile taşınıp atıksuya karışan partiküllerin KOİ ve AKM değerinin artmasına sebep olabileceği düşünülmektedir. Adana'daki kentsel alanlarda akışa geçen yağmur sularıyla yapılan çalışmada, AKM'nin 23-1620, KOİ'nin 16-1450, BOİ₅'in ise 3-290 mg/L değerleri arasında farklılık gösterdiğini ve yağmur sularının yüksek oranda kirlilik içerdiğini bildirmişlerdir (Kabak ve ark, 2002). Bu bağlamda,

literatürdeki bu bilgiler göz önüne alındığında yağmurlu günlerdeki yüksek KOİ değerinin sebeplerinden biri ortaya çıkmaktadır. Bir diğer sebep ise, kanalizasyondaki debinin artması sonucu normalde atıksuya karışmayacak seviyede kurumuş olan atıkların, atıksuya karışması olabilmektedir.

Ersü' nün 2000 yılında Adana evsel atıksuları ile yaptığı çalışmada ortaya koyduğu KOİ ve BOİ₅ analizlerinin sonuçlarının ortalamalarından BOİ₅/KOİ oranı hesaplanıp, oran 0.77 olarak tespit edilmiştir. 2000 yılına ait oran ile bu çalışmada bulunan oran arasında fark, Adana atıksuyunun biyolojik olarak bozunabilirliğinin azaldığını göstermektedir. 16 yıllık bu süreçte değişime sebep olarak, çeşitleri giderek artan ve yaygın olarak kullanılan kişisel bakım ürünleri ve ev temizliğinde kullanılan deterjanlar gösterilebilir. Literatürde, pek çok deterjan bileşiğinin bakteriler tarafından biyolojik olarak parçalanmaya dirençli olduğu bilgisi bulunmuştur (Scott ve ark, 2000).

Atıksu arıtma tesisi dizaynında tahmini BOİ₅ değerini kullanmak doğru olmayacaktır. Fakat atıksu arıtma tesisi işletilmesinde her arıtma tesisinin kendisine özgü olan, tahmini BOİ₅ değerini kullanmak, zamandan ve maliyetten tasarruf sağlamakla birlikte iş yükünün azaltılması bakımından oldukça mantıklı olacaktır. Çünkü BOİ₅ analizi 5 gün sonunda tamamlanırken, KOİ analizi 2-3 saatte tamamlanmaktadır.

Bu çalışma sınırlı bir zaman diliminde yapıldığı için, literatürdeki bazı çalışmalar gibi uzun yıllar boyunca analiz yapıp veri setleri biriktirilememiştir. Veri seti sayısı arttırıldığı takdirde KOİ ve BOİ₅ parametreleri arasında daha yüksek bir korelasyon değeri (r) elde edilebileceği düşünülmektedir. İlerleyen zamanlarda bu çalışmanın merkezinde başka bir çalışma yapılacak olursa bu hususlara dikkat edilmelidir.

4.3.1.1. FBOİ₅ İle FKOİ Arasındaki İlişki

Çizelge 4.11.'de bu çalışmada filtre atıksu ile yapılan BOİ₅ ve KOİ analizlerin sonuçları ve her bir numuneye ait BOİ₅/KOİ oranları verilmiştir.

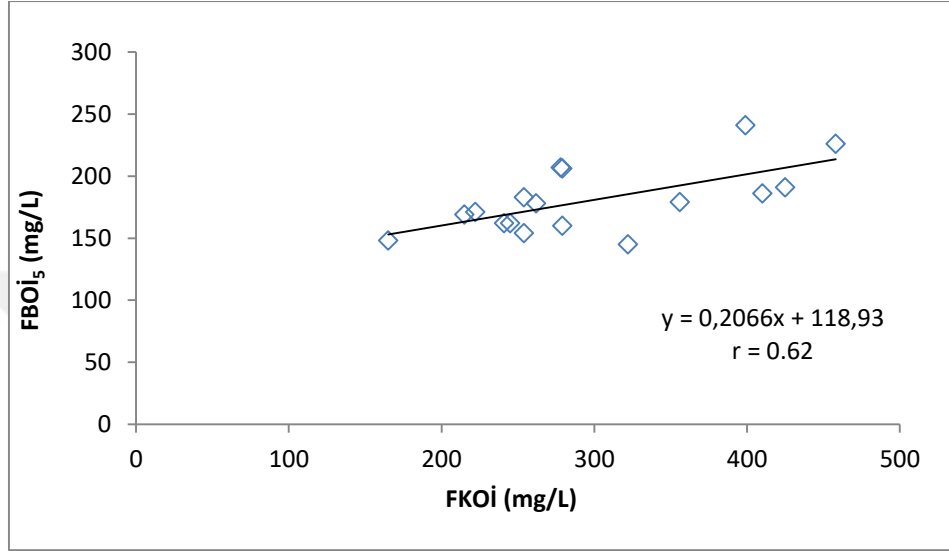
Askıda katı madde giderildikten sonra çözünmüş (filtre) KOİ ve BOİ₅ analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.11. Filtre Atıksu İçin FBOİ₅/FKOİ Oranları

Numune No	FBOİ ₅ (mg/L)	FKOİ (mg/L)	FBOİ ₅ /FKOİ
1	171	222	0.77
2	145	322	0.45
3	160	279	0.57
4	169	215	0.79
5	148	165	0.90
6	186	410	0.45
7	154	254	0.61
8	191	425	0.45
9	162	245	0.66
10	162	241	0.67
11	178	262	0.68
12	183	254	0.72
13	207	278	0.74
14	206	279	0.74
15	179	356	0.50
16	241	399	0.60
17	226	458	0.49
Ortalama	180	297	0.63

Bu çalışmada Şekil 4.3.'de görüldüğü üzere FKOİ ile FBOİ₅ arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi $FBOİ_5 = 0.2066 * FKOİ + 118.93$, $r = 0.62$ ve ortalama hata % 9.07 olarak bulunmuştur. Regresyon analizi sonucunda FBOİ₅' deki değişimin % 62'si FKOİ

ile açıklanır. Regresyon denkleminde FKOİ sıfır iken FBOİ₅'in 118.93 olması beklenir. FKOİ bir birim arttığında FBOİ₅'in 0.20 birim artması beklenir.



Şekil 4.3. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin FBOİ₅ ve FKOİ Parametreleri Arasındaki İlişki

Adana ilinin evsel atıksuyuna ait FBOİ₅ ile FKOİ parametreleri arasında 0.62'lik bir ilişki tespit edilmiştir. Filtre edilmemiş ham atıksulara ait BOİ₅ ile KOİ arasında 0.75'lik bir ilişki tespit edilmiştir. Filtre edilmemiş ham atıksularda daha yüksek bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir.

4.3.2. AKM ile KOİ Arasındaki İlişki

Çizelge 4.12.'de bu çalışmada ham atıksuyla yapılan AKM ve KOİ analizlerin sonuçları ve her bir numuneye ait AKM/KOİ oranları verilmiştir.

Çizelge 4.12. Ham Atıksu İçin AKM/KOİ Oranları

NUMUNE NO	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)	AKM/KOİ
1	262	710	0.36
2	313	714	0.43
3	282	714	0.39
4	151	517	0.29
5	150	455	0.32
6	405	750	0.54
7	126	500	0.25
8	400	784	0.51
9	75	436	0.17
10	211	470	0.44
11	95	346	0.27
12	160	389	0.41
13	199	506	0.39
14	255	654	0.38
15	260	705	0.36
16	178	730	0.24
17	133	722	0.18
Ortalama	215	594	0.35

Bu çalışmada ortalama AKM/KOİ oranı ise 0.35 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.13.' de literatürdeki çeşitli il ve ilçelere ait AKM ve KOİ değerlerinden bu oranlar hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Ülkemizde İl ve İlçelere Ait AKM/KOİ Oranları

İller ve İlçeler	AKM/KOİ	KAYNAK
İzmir	0.58	Erdoğan ve Ark, 2004
Tarsus	0.43	Erdoğan ve Ark, 2004
Antalya	0.69	Erdoğan ve Ark, 2004
Ankara	0.48	Erdoğan ve Ark, 2004
Isparta	0.37	Erdoğan ve Ark, 2004
İstanbul	0.52	Orhon ve Ark, 1996
Adana	0.35	Bu çalışma
Adana	0.59	Ersü, 2000

Tabloda görüldüğü üzere oranlar birbirinden farklıdır. 0.35 ile 0.69 arasında değişim göstermektedir. Bu oranlarla birlikte, Metcalf ve Eddy' nin (1991) evsel atıksuların bileşimi ile ilgili olarak oluşturdukları değerleri içeren Çizelge 4.5.'e bakıldığında, zayıf konsantrasyona sahip bir atıksu için AKM/KOİ oranı 0.40, orta konsantrasyon için 0.44, sert konsantrasyon için 0.35 olarak hesaplanmıştır. Ancak bazen atıksu, kuvvetli KOİ konsantrasyonuna sahipken orta AKM konsantrasyonuna ya da sert AKM konsantrasyonu sahipken orta KOİ konsantrasyonuna sahip olabilmektedir. Çizelge 4.5.'e bakıldığında ve ilk durum değerlendirildiğinde AKM/KOİ oranı 0.22, ikinci durum değerlendirildiğinde ise AKM/KOİ oranı 0.70 olarak hesaplanmıştır.

Henze ve arkadaşlarının (2008), az miktarda endüstriyel atıksu karışmış ham evsel atıksuların bileşimi ile ilgili olarak oluşturdukları değerleri içeren Çizelge 4.6.'ya bakıldığında, zayıf konsantrasyona sahip bir atıksu için AKM/KOİ oranı 0.50, orta konsantrasyon için 0.53, sert konsantrasyon için 0.50 olarak hesaplanmıştır. Ancak bazen atıksu, kuvvetli KOİ konsantrasyonuna sahipken orta AKM konsantrasyonuna ya da sert AKM konsantrasyonu sahipken orta KOİ konsantrasyonuna sahip olabilmektedir. Çizelge 4.6.'ya bakıldığında ve ilk durum

değerlendirildiğinde AKM/KOİ oranı 0.33, ikinci durum değerlendirildiğinde ise AKM/KOİ oranı 0.80 olarak hesaplanmıştır.

Literatürdeki bu bilgiler birlikte değerlendirildiğinde, evsel atıksular için AKM/KOİ oranının 0.22-0.80 aralığında değişmekte olduğu söylenebilir. Bu çalışmada bulunan oran 0.35 olup, bu aralığın içinde yer almaktadır.

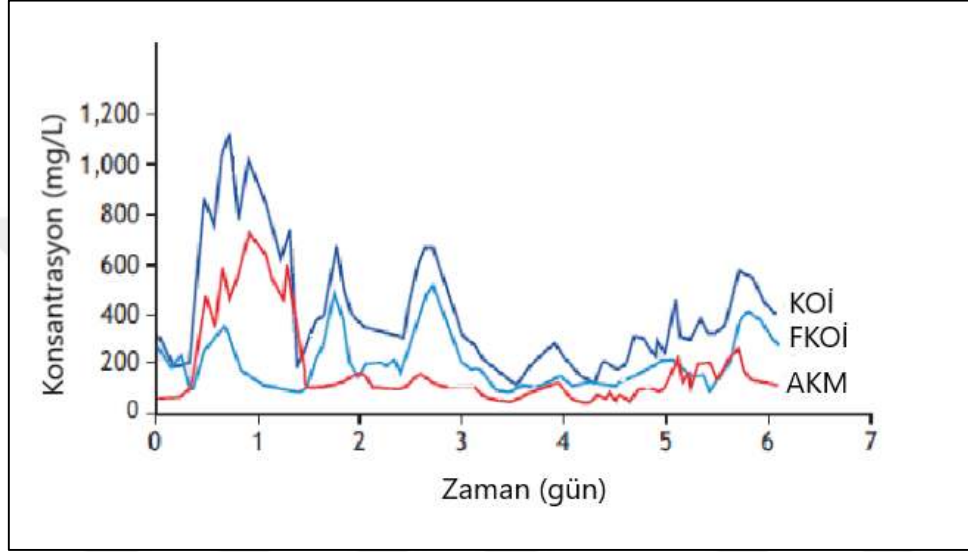
Evsel atıksularda AKM değeri arttıkça KOİ değeri de artmaktadır. Çizelge 4.14.'de bu çalışmaya ait AKM Kaynaklı KOİ yüzdeleri gösterilmektedir. Bu çalışmada ortalamanın üzerinde seyreden KOİ değerleri değerlendirirken, Çizelge 4.2.'de verilen deney setlerine bakıldığında özellikle 2. ve 5. deney setlerinde BOİ değerleri aynıken, farklı AKM değerlerinin oluşunun KOİ değerlerinin farklılaşmasına sebep olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. Adana Evsel Atıksuyuna Ait KOİ, FKOİ, AKM Değerleri ve AKM Kaynaklı KOİ Yüzdeleri

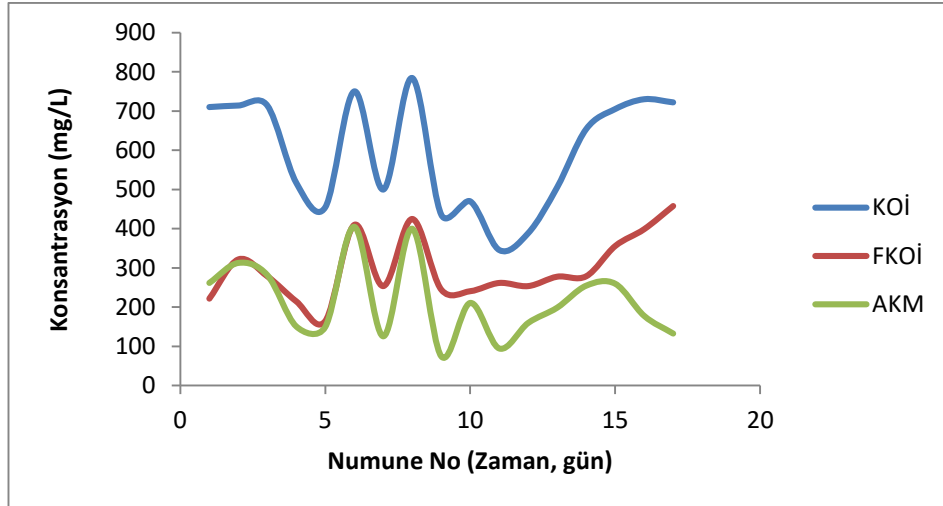
Numune No	KOİ (mg/L)	FKOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	AKM Kaynaklı KOİ Yüzdesi
1	710	222	262	68
2	714	322	313	54
3	714	279	282	60
4	517	215	151	58
5	455	165	150	63
6	750	410	405	45
7	500	254	126	49
8	784	425	400	45
9	436	245	75	43
10	470	241	211	48
11	346	262	95	24
12	389	254	160	34
13	506	278	199	45
14	654	279	255	57
15	705	356	260	49
16	730	399	178	45
17	722	458	133	36
Ortalama	594	297	215	48

Henze atıksudaki maddelerin konsantrasyonunda günlük değişimler gözlemlendiğini belirtmiştir. Şekil 4.4.'de akıştaki değişimlere bağlı, KOİ, FKOİ ve AKM parametrelerinin konsantrasyonlarının değiştiği gösterilmektedir. Ayrıca grafikte görüldüğü üzere bazı günlerde AKM konsantrasyonu arttıkça KOİ konsantrasyonu da ona paralel olarak artmaktadır (Henze ve ark, 2002).

Bu çalışmada çeşitli zaman aralıklarıyla alınan numelerin KOİ, FKOİ ve AKM konsantrasyonlarının değişimi Şekil 4.5.'de gösterilmektedir. Şekil 4.5.'de KOİ ile AKM arasındaki ilişki de görülmektedir.

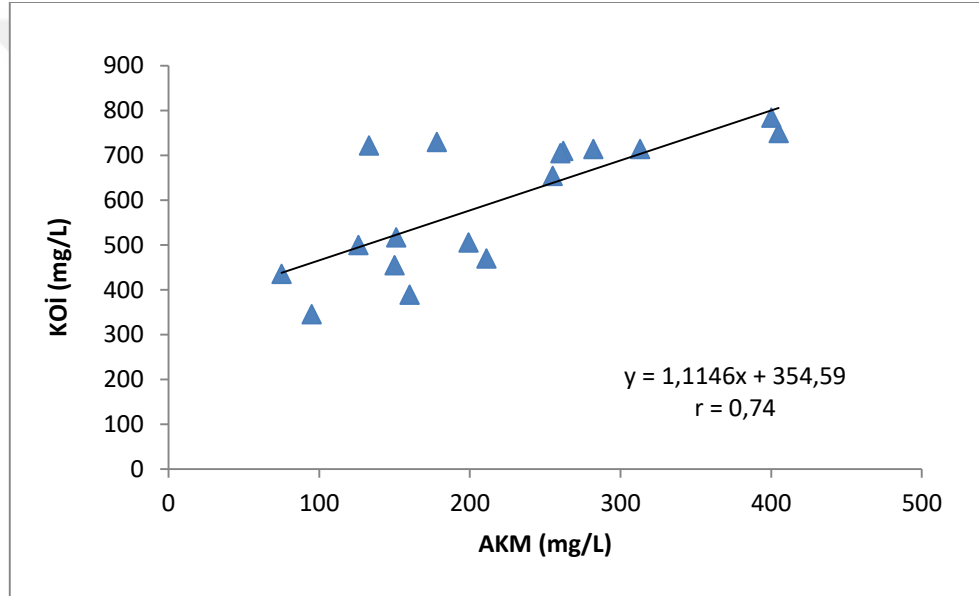


Şekil 4.4. KOİ, FKOİ ve AKM Konsantrasyonlarının Zamana Göre Değişimi (Henze ve ark, 2002).



Şekil 4.5. Adana Evsel Atıksuyu İçin KOİ, FKOİ ve AKM Konsantrasyonlarının Değişimi

Bu çalışmada Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere KOİ ile AKM arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi $KOİ=1.1146*AKM+354.59$, $r = 0.74$ ve ortalama % hata 12.86 olarak bulunmuştur. Regresyon analizi sonucunda KOİ' deki değişimin %74'ü AKM ile açıklanır. Regresyon denkleminde AKM sıfır iken KOİ'nin 354.59 olması beklenir. AKM bir birim arttığında KOİ'nin 1.11 birim artması beklenir. Adana ilinin evsel atıksuyuna ait KOİ ve AKM parametreleri arasında 0.74'lik bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin KOİ ve AKM Parametreleri Arasındaki İlişki

Metcalf ve Eddy'nin (1991) oluşturduğu Çizelge 4.5.'e bakıldığında orta derece konsantrasyona sahip tipik ham evsel atıksuyun KOİ değerinin 500 mg/L, orta derece konsantrasyona sahip tipik ham evsel atıksuyun AKM değerinin ise 220 mg/L olduğu görülmektedir. Metcalf ve Eddy'nin bu sınıflandırmasına göre Adana evsel atıksuyunun orta derece konsantrasyona sahip olduğu bilgisinden yola

çıkarak, bu çalışmada elde edilen regresyon denkleminde AKM yerine 220 mg/L değeri konulduğunda KOİ değeri 599.80 mg/L olarak hesaplanmıştır.

Henze ve arkadaşlarının (2008) oluşturduğu Çizelge 4.6.'e bakıldığında zayıf derece konsantrasyona sahip, az miktarda endüstriyel atıksuyun karıştığı ham evsel atıksuyun KOİ değerinin 500 mg/L, zayıf derece konsantrasyona sahip az miktarda endüstriyel atıksuyun karıştığı ham evsel atıksuyun AKM değerinin ise 250 mg/L olduğu görülmektedir. Henze ve arkadaşlarının (2008) bu sınıflandırmasına göre Adana evsel atıksuyunun KOİ'sinin ve AKM'sinin zayıf derece konsantrasyona sahip olduğu bilgisinden yola çıkarak, bu çalışmada elde edilen regresyon denkleminde AKM yerine 250 mg/L değeri konulduğunda KOİ değeri 633.24 mg/L olarak hesaplanmıştır.

4.3.3. AKM İle BOİ₅ Arasındaki İlişki

Çizelge 4.15.'de bu çalışmada ham atıksuyla yapılan analizlerin sonuçları ve her bir numuneye ait AKM/ BOİ₅ oranları verilmiştir.

Çizelge 4.15. Ham Atıksu İçin AKM/ BOİ₅ Oranları

NUMUNE NO	BOİ ₅ (mg/L)	AKM (mg/L)	AKM/BOİ ₅
1	305	262	0.85
2	259	313	1.20
3	324	282	0.87
4	285	151	0.52
5	259	150	0.57
6	304	405	1.33
7	212	126	0.59
8	335	400	1.19
9	190	75	0.39
10	228	211	0.92

11	203	95	0.46
12	224	160	0.71
13	343	199	0.58
14	337	255	0.75
15	384	260	0.67
16	409	178	0.43
17	366	133	0.36
Ortalama	292	215	0.73

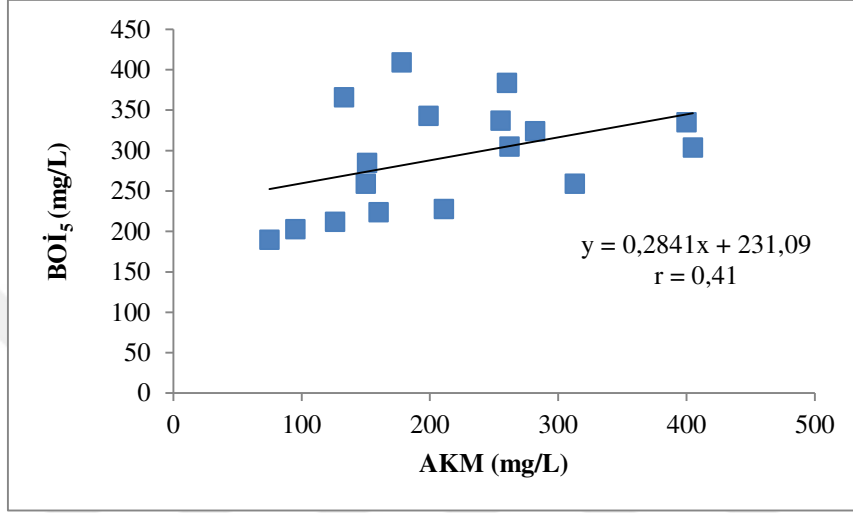
Bu çalışmada ortalama AKM/BOİ₅ oranı ise 0.73 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.16.' de literatürdeki çeşitli il ve ilçelere ait AKM ve BOİ₅ değerlerinden bu oranlar hesaplanmıştır.

Çizelge 4.16. Ülkemizde İl ve İlçelere Ait AKM/ BOİ₅ Oranları

İller ve İlçeler	AKM/ BOİ ₅	KAYNAK
İzmir	1.24	Erdoğan ve ark, 2004
Tarsus	0.84	Erdoğan ve ark, 2004
Antalya	1.05	Erdoğan ve ark, 2004
Ankara	0.92	Erdoğan ve ark, 2004
Isparta	0.63	Erdoğan ve ark, 2004
İstanbul	1.19	Orhon ve ark, 1996
Adana	0.94	Yüceer, 1991
Adana	0.76	Ersü, 2000
Adana	0.73	Bu çalışma

Bu çalışmada Şekil 4.7.'de görüldüğü üzere AKM ile BOİ₅ arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi $BOİ_5 = 0.2841 \cdot AKM + 231.09$, $r = 0.41$ ve ortalama hata % 17.03 olarak bulunmuştur. Regresyon analizi sonucunda BOİ₅'deki değişimin %41'i AKM ile açıklanır. Regresyon denkleminde AKM sıfır iken BOİ₅'in 231.09 olması beklenir.

AKM bir birim arttığında BOI_5 'in 0.28 birim artması beklenir. Adana ilinin evsel atıksuyuna ait BOI_5 ve AKM parametreleri arasında 0.41'lik bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin BOI_5 ve AKM Parametreleri Arasındaki İlişki

AKM analizi, BOI_5 analizine göre çok daha kısa sürede sonuç verdiği için atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde BOI_5 analizi yerine AKM analizinin kullanımı pratik olacaktır. Ham evsel atıksu için BOI_5 ve AKM parametreleri arasında regresyon analizi yapılan başka bir çalışmada r 'nin 0.64 olarak hesaplandığı bildirilmiştir (Janna, 2016).

4.3.4. FKOİ İle FTOK Arasındaki İlişki

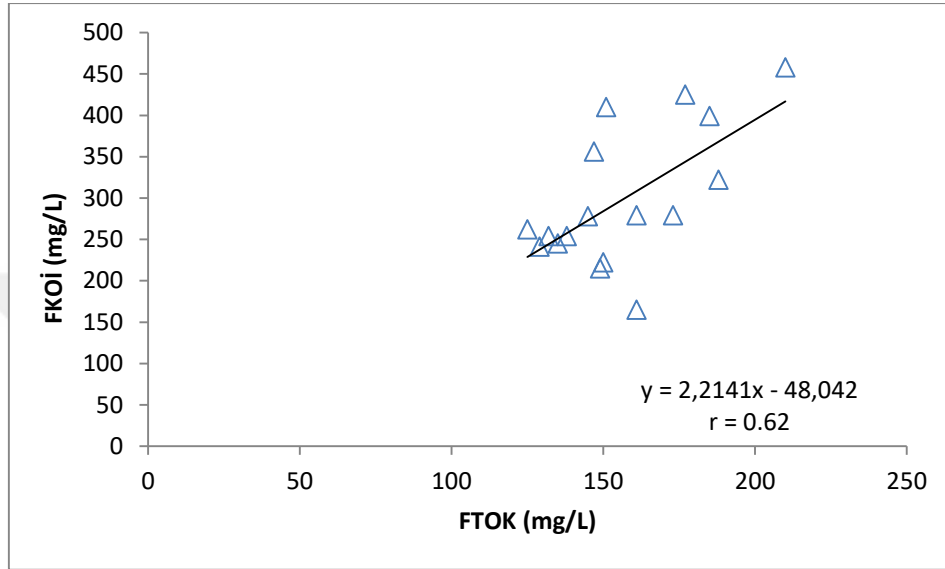
Çizelge 4.17.'de bu çalışmada filtre atıksu ile yapılan KOİ ve TOK analizlerin sonuçları ve her bir numuneye ait FKOİ/FTOK oranları verilmiştir.

Çizelge 4.17. Filtre Atıksu İçin FKOİ/FTOK Oranları

NUMUNE NO	FKOİ (mg/L)	FTOK (mg/L)	FKOİ/FTOK
1	222	150	1.48
2	322	188	1.71
3	279	173	1.61
4	215	149	1.44
5	165	161	1.02
6	410	151	2.72
7	254	132	1.92
8	425	177	2.40
9	245	135	1.81
10	241	129	1.87
11	262	125	2.10
12	254	138	1.84
13	278	145	1.92
14	279	161	1.73
15	356	147	2.42
16	399	185	2.16
17	458	210	2.18
Ortalama	297	156	1.90

Bu çalışmada Şekil 4.8.'de görüldüğü üzere FKOİ ile FTOK arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi $FKOİ=2.2141*FTOK-48.042$, $r = 0.62$ ve ortalama hata % 17.89 olarak bulunmuştur. Regresyon analizi sonucunda FKOİ'deki değişimin % 62'si FTOK

ile açıklanır. Regresyon denkleminde FTOK sıfır iken FKOİ'nin -48.042 olması beklenir. FTOK bir birim arttığında FKOİ'nin 2.21 birim artması beklenir.



Şekil 4.8. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin FKOİ ve FTOK Parametreleri Arasındaki İlişki

Adana ilinin evsel atıksuyuna ait FKOİ ile FTOK parametreleri arasında %62'lik bir ilişki tespit edilmiştir.

4.3.5. FBOİ₅ İle FTOK Arasındaki İlişki

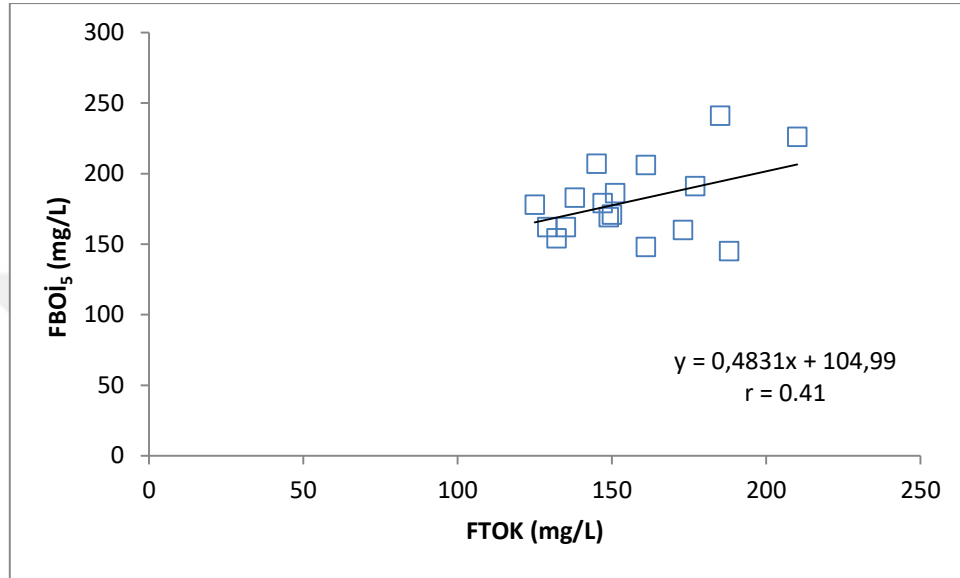
Çizelge 4.18.'de bu çalışmada filtre atıksu ile yapılan BOİ₅ ve TOK analizlerin sonuçları ve her bir numuneye ait FBOİ₅/FTOK oranları verilmiştir.

Çizelge 4.18. Filtre Atıksu İçin FBOİ₅/FTOK Oranları

NUMUNE NO	FBOİ ₅ (mg/L)	FTOK (mg/L)	FBOİ ₅ /FTOK
1	171	150	1.14
2	145	188	0.77
3	160	173	0.92
4	169	149	1.13
5	148	161	0.92
6	186	151	1.23
7	154	132	1.16
8	191	177	1.07
9	162	135	1.20
10	162	129	1.26
11	178	125	1.42
12	183	138	1.33
13	207	145	1.43
14	206	161	1.28
15	179	147	1.22
16	241	185	1.30
17	226	210	1.08
Ortalama	180	156	1.16

Bu çalışmada Şekil 4.9.'da görüldüğü üzere FBOİ₅ ile FTOK arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon denklemi $FBOİ_5 = 0.4831 \cdot FTOK + 104.99$, $r=0.41$ ve ortalama % hata 10.42 olarak bulunmuştur. Regresyon analizi sonucunda FBOİ₅' deki değişimin % 41'i FTOK

ile açıklanır. Regresyon denkleminde FTOK sıfır iken FBOİ₅'in 104.99 olması beklenir. FTOK bir birim arttığında FBOİ₅'in 0.48 birim artması beklenir.



Şekil 4.9. Adana Ham Evsel Atıksuyu İçin FBOİ₅ ve FTOK Parametreleri Arasındaki İlişki

Adana ilinin evsel atıksuyuna ait FBOİ₅ ile FTOK parametreleri arasında %41'lik bir ilişki tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada sonuçlar öneriler ile birlikte aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Adana ham evsel atıksuyunun ortalama pH, Eİ, BOİ₅, FBOİ₅, KOİ, FKOİ, FTOK ve AKM değerleri sırasıyla; 7.5, 1629 (µS/ cm), 292, 180, 594, 297, 156, 215 mg/L olarak tespit edilmiştir.
- Ham evsel atıksuyun orta konsantrasyon özelliklerine sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Atıksuyun BOİ₅/KOİ oranı, 0.36-0.67 aralığında değişmektedir. BOİ₅/KOİ oranı, aynı yıl içerisinde, aynı şehre ait ham atıksu için bile değişkenlik gösterirken evsel atıksular için çevresel koşullar aynı olmadığı sürece sabit bir BOİ₅/KOİ oranından bahsetmek doğru olmayacaktır.
- Atıksuyun ortalama BOİ₅/KOİ oranı 0.50 olarak hesaplanmıştır. Bu ortalama değere bakılarak atıksuyun biyolojik olarak arıtılabileceği söylenebilir. Lakin Çizelge 4.8.'de yer alan numune no 2'e ait BOİ₅/KOİ oranına bakıldığında 0.36 değeri görülecektir. Bu değer bakteriler tarafından zor parçalanan yahut parçalanamayan organik maddelerin arıtma tesisine girdiğinin bir işareti olabilir. Bu durum biyolojik arıtmayı sekteye uğratabilir.
- Atıksuyun BOİ₅ ile KOİ değerleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.75, ortalama % hata 13.09 olarak bulunmuştur.
- Atıksuyun özelliği zaman içinde değişebileceği için regresyon analizleri belirli periyotlarla tekrarlanmalıdır.

- Regresyon analizi sonucu elde edilen regresyon denkleminde $KOİ$ değeri yerleştirildiğinde hesaplanan sonuç tahmini $BOİ_5$ değerini verecektir. Bu durum arıtma tesisine girecek olan ham atıksuyun özelliklerinin belirlenmesinde, proseslerin kontrollerinde ve çıkış suyunun deşarj kriterlerini sağlayıp sağlamadığının tespitinde oldukça faydalı olacaktır. Arıtma tesisinde yaşanabilecek problemlerin kısa sürede çözülmesine yardımcı olacaktır.
- Atıksuyun çözünmüş (filtre) $FBOİ_5/FKOİ$ oranı, 0.45- 0.90 aralığında değişmektedir. Ortalama $FBOİ_5/FKOİ$ 0.63 olarak hesaplanmıştır. Ham atıksu filtre edildikten yani AKM giderildikten sonraki $FBOİ_5/FKOİ$ oranı ham atıksuya göre daha yüksek tespit edilmiştir. AKM giderildikten sonra atıksuyun biyolojik olarak parçalanabilirliği artmıştır.
- Atıksuyun $FBOİ_5$ ile $FKOİ$ değerleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.63, ortalama % hata 9.07 olarak bulunmuştur. Filtre edilmemiş, ham atıksuya göre daha düşük bir korelasyon katsayısı elde edilmiştir.
- Atıksuyun $AKM/KOİ$ oranı, 0.17-0.54 aralığında değişmektedir. Ortalama $AKM/KOİ$ oranı 0.35 olarak hesaplanmıştır.
- Atıksuyun AKM ile $KOİ$ değerleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.74, ortalama % hata 12.86 olarak bulunmuştur.
- Atıksuyun $AKM/BOİ_5$ oranı, 0.36-1.33 aralığında değişmektedir. Ortalama $AKM/BOİ_5$ oranı 0.73 olarak hesaplanmıştır.
- Atıksuyun AKM ile $BOİ_5$ değerleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.41, ortalama % hata 17.03 olarak bulunmuştur.

- Atıksuyun çözünmüş (filtre) FKOİ/FTOK oranı, 1.02-2.72 aralığında değişmektedir. Ortalama FKOİ/FTOK oranı 1.90 olarak hesaplanmıştır.
- Atıksuyun FKOİ ile FTOK değerleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.62, ortalama % hata 17.89 olarak bulunmuştur.
- Atıksuyun çözünmüş (filtre) FBOİ₅/FTOK oranı, 0.77-1.43 aralığında değişmektedir. Ortalama FBOİ₅/FTOK oranı 1.16 olarak hesaplanmıştır.
- Atıksuyun FBOİ₅ ile FTOK değerleri arasında yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.41, ortalama % hata 10.41 olarak bulunmuştur.



KAYNAKLAR

- Abdalla, K.Z., Hammam, G., 2014. Correlation Between Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand for Various Wastewater Treatment Plants in Egypt to Obtain the Biodegradability Indices. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research, 13(1):42 - 48
- Ademoroti, C.M.A., 1986, Model to Predict BOD from COD Values. Effluent and Water Treatment, 26:80 – 84
- Ademoroti, C.M.A., 1988. The Effects of Metallic Toxicants on BOD Measurements. Biological Wastes, 24(4):259 – 265
- Afshar, J., 1995. Assessment of the Quality and Quantity of Tehran's Wastewater. T.Ü Yüksek Lisans Tezi, Tahrán.
- Arceivala, S.J., 1998. Wastewater Treatment for Pollution Control (A. Balman, V. Balman). Çevre Kirliliği Kontrolünde Atıksu Arıtımı, 1. Baskı, Tata McGraw – Hill Publishing Company Limited, New Delhi, s.14-17
- ASKİ (Adana Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü), 2005. Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliği
- Azimi, A.A., Ameri, M., 2002. Determination of Per Capita Flow Rate and Wastewater Pollutants of Shaeb- Gharanieh Treatment Plant in Tehran. Journal Environmental Study, (28): 93 – 100
- Aziz, A.J., Tebbutt, T.H.Y., 1979. Significance of COD, BOD and TOC Correlations in Kinetic Models of Biological Oxidation. Water Research, 14(4):319 – 324
- Barwal, A., Chavdhary, R., 2016. Feasibility Study for the Treatment of Municipal Wastewater by Using a Hybrid Bio-Solar Process. Journal of Environmental Management, 177: 271 – 277

- Bhat, R.M., Roopali, Hiremath, S., Kulkarni, R.V., 2004. Correlation Between BOD, COD and TOC. *Journal of Industrial Pollution Control*, 20(1):187 – 191.
- Bourgeois, W., Burgess, J.E., 2001. One-Line Monitoring of Wastewater Quality: a Review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 76(4): 337 – 348
- Boyles, W., 1997, *The Science of Cheamical Oxygen Demond*, Technical Information Series, Booklet No.9. Hach Company, USA, 24s.
- Bristol, P., Civiello, J., Harp, D., Radu, R., 2001. The Beneficial Use of the COD/TOC Ratio in the Treatment of Paper Manufacturing Wastewater. *Proceeding of teh Water Enviornment Federation*, (9):224 – 237
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2004. *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2006. *Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği*
- Davis, L.M., 2015. *Water and Wastewater Engineering* (İ. Toröz Editör). *Su ve Atıksu Mühendisliği*, 1. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, s.18-7
- Dubber, D., Gray, N.F., 2010. Replicement of Chemical Oxygen Demond (COD) with Total Organic Carbon (TOC) for Monitoring Wastewater Treatment Performance to Minimize Disposal of Toxic Analytical Waste. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 45(12):1595 – 1600
- Eckenfelder, W.W., 1980. *Principles of Water Quality Managment*. CBI Publishing Company, Boston, 717.
- El-gawad, H.A., Aly, M.A., 2011. Assessmant of Aquatic Environmental for Wastewater Managment Quality in the Hospital: a Couse Study. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(7):474 – 482
- Erdoğan, A.O., Zengin, G.E., Orhon, D., 2005. Türkiye’de Evsel Atıksu Oluşum Miktarları ve Karekterizasyonu. *İTÜDERGİSİ/e*, 15/1-3):57 – 69
- Ersü, Ç.B., 2000, *Sıcak İklimlerde Evsel Atıksuların Arıtılmasında Alternatiflerin Değerlendirilmesi*, Ç.Ü Yüksek Lisans Tezi, Adana.

- Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2004. Promulgation of the New Version of the Ordinance on Requirements for the Discharge of Waste Water into Waters (Waste Water Ordinance - AbwV) ,Germany
- Ferguson, G., Dakers, A., Gunn, I., 2003. Sustainable Wastewater Management a Handbook for Smaller Communities, N.Z.: Ministry for the Enviroment.
- Gaudy, A., Gaudy, E., 1980. Microbiology for Environmental Scientists and Engineers, McGraw-Hill, New York, 343 s.
- Hanrahan, G., 2013. Key Concepts In Environmental Chemistry (İ. Toröz editör). Çevre Kimyasında Temel Kavramlar. 1. Basım, Nobel Yayın, Ankara, 47-48s.
- Henze, M., Harremoes, P., Jansen, J., Arvin, E., 2002. Wastewater Treatment: Biological and Chemical Proseses. Springer – Verlag Publishing, Berlin Heidelberg, 433s.
- Henze, M., Van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D., 2008. Biological Wastewater Treatment: Principles, Modelling and Design. IWA Publishing, London, 33- 52s.
- Hill, D.R., Spiegel, S.J., 1980. Characterization of Industrial Wastes by Evaluating BOD, COD and TOC. Journal Water Pollution Control Federation, 52(11):2704 – 2708
- Hodzic, E., 2011. Total Organic Carbon (TOC) and Chemical Oxygen Demand (COD) – Monitoring at Organic Pollutants in Wastewater. U.Ü. Yüksek Lisans Tezi, Uppsala.
- Janna, H., 2016. Characterisation of Raw Sewage and Performance Evaluation of Al – Diwaniyah Sewage Treatment Work, Iraq. World Journal of Engineering and Technology, 4(02):296 – 304
- Johal, E., Walia, B.S., Saini, M.S., Jha, M.K., 2014. Efficiency Assessment and Mathematical Correlations Development Between BOD and Other Parameters in Jalandhar Sewage Treatment. International Journal of

- Innovative Research in Science, Engineering and Technology, (6):13088 – 13096
- Kabak, H., Selek, Z., Yüceer, A., 2002. Adana Kenti Yüzeysel Akışa Geçen Yağmur Sularının Karakterizasyonu. Çukurova Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, 17(1-2):177 – 190
- Lee, J., Lee, S., Yu, S., 2016. Relationships Between Water Quality Parameters in Rivers and Lakes: BOD₅, COD, NBOP_s and TOC. Environmental Monitoring and Assessment, 188:252
- Mara, D., Horan, N., 2003. Handbook of Water and Wastewater Microbiology. Elsevier, UK, 610s.
- Markantonatos, G.P., 1990. Treatment and Disposal of Wastewater. Athens, Greek.
- Mesdaghinia, A., Nasser, S., Mahvi, A.H., Tashavoei, H.R., Hadi, M., 2015. The Estimation of Per Capita Loadings of Domestic Wastewater in Tehran. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 13(25):1 – 9
- Metcalf and Eddy, 1991. Wastewater Engineering Collection Ineatment Dispoool. Tata McGraw – Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 782s.
- Muslu, Y., 1994. Atıksuların Arıtılması. İstanbul Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 854s.
- Nutt, S.G., Tran, J., Vriezen, C., Fuga, G., Zaleski, A., Miot, A., Pagilla, K., Lee, M., Ross, M., Palmer, T., 2013. Addressing BOD5 Limitations Trough TOC Correlations – A International. Proceedings of the Water Environment Federation, (15):2567 – 2577
- Official Journal of the European Communities, 1991. Council Directive, Concerning Urban Waste Water Treatment, (91/271/EEC)
- Orhon, D., Ateş, E., Sözen, S., Çokgör, E.V., 1997. Characterization and COD Fractionation of Domestic Wastewater. Enviromental Pollution, 95(2):191 – 204
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2010. Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği

- Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U., 2005. Atıksu Arıtımının Esasları. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul, 450s.
- Papadopoulos, A., Parissopoulos, G., Papadopoulos, F., Karteris, A., 2001. Variations of COD/BOD₅ Ratio at Different Units of a Wastewater Stabilization Pond Pilot Treatment Facility. Proceeding of 7th International Conference on Environmental Science and Technology Ermoupolis, s. 16 – 19
- Rice, W.E., Baird, R.B., Eaton, A.D., Clesceri, L.S., 2012. Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, Water Environment Federation, 22nd Edn, Washington DC.
- Samsunlu, A., 2011. Atıksuların Arıtılması. Birsen Yayınevi, İstanbul, 647s.
- Sawyer, N.C., McCarty, L.P., Parkin, F.G., 2013. Chemistry for Environmental Engineering and Science (İ. Toröz Editör). Çevre Mühendisliği ve Bilimi için Kimya. 5. Basımdan Çeviri, Ankara, 752s.
- Sazeh Consultants Engineering and Construction CO, 1993. Assessment the Results of Wastewater Quality Analyses of Tehran's Jonoob Wastewater Treatment Plant, Tehran.
- Scott, M.J., Jones, M.N., 2000. The Biodegradation of Surfactants in the Environment. Biochimica et Biophysica Acta (BBA), 1508(1-2):235 – 251
- Sincero, P.A., Sincero, A.G., 2002. Physical – Chemical Treatment of Water and Wastewater. IWA Publishing, London, 796s.
- Tebbutt, T.H.Y., 1998. Principles of Water Quality Control. Fifth Edition. Butterworth- Heinemann, 280s.
- Thomas, O., El Khorassani, H., Touraud, E., Bitar, H., 1999. TOC Versus UV Spectrophotometry for Wastewater Quality Monitoring. Talanta, 50(4): 743 – 749
- TUİK, 2016 , Resmi Web Sitesi, www.tuik.gov.tr , Ankara

- Vesilind, P.A., Morgan, S.M., Heine, L.G., 2014. Introduction to Enverionmental Engineering (İ. Torgöz Editör). Çevre Mühendisliğine Giriş, 3. Baskı, Nobel Kitap, Ankara, s.343
- Visco, G., Gampanella, L., Nobili, V., 2005. Organic Carbons and TOC in Waters: an Overview of the International Norm for Its Meqsurements. Microchemical Journal, 79(1-2): 185 – 191
- Whitehead, W.K., 1976. Monitoring Poultry Processing Waste Water with Total Organic Carbon. Poultry Science, 55(2):679 – 684
- Wilson, F., 1997. Total Organic Carbon as a Predictor of Biological Wastewater Treatment Efficiency and Kinetic Reaction Rates. Water Science Technology, 35(8): 119 – 126
- Yılmaz, S., 2015. Membran Biyoreaktör ile Evsel Nitelikli Atıksuların Arıtılması ve Geri Kazanılması, İTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yüceer, A., 1991. Atıksu Çökelme Deneyleri ve Seyhan Nehri Kirlenme Kontrolü İçin Bazı Önlemler. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 6(2):15-24
- Yüceer, A., 1980. Effect of Waste Activated Sludge On Primary Settlement, Department of Civil Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom

ÖZGEÇMİŞ

17.10.1992 yılında Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin’de tamamladı. 2010 yılında girdiği Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

