

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİYOLOJİK PARAMETRE DEĞİŞİMLERİNE BAĞLI OLARAK ATIK SU
ARITMA TESİSLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞ. MÜH. Rahim ŞİBİL

TEMMUZ 2008
TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİYOLOJİK PARAMETRE DEĞİŞİMLERİNE BAĞLI OLARAK ATIK SU
ARITMA TESİSLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ TASARIMI**

İnş. Müh. Rahim ŞİBİL

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İnşaat Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.07.2008
Tezin Savunma Tarihi : 28.07.2008**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet BERKÜN
Jüri Üyesi : Yrd. Doç Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY**

Enstitü Müdürü V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Biyolojik parametre değişimlerine bağlı olarak atık su arıtma tesislerinin bilgisayar destekli tasarımı konusundaki bu alışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı bana öneren, yoğun iç temposuna rağmen idare eden ve yönlendiren, bilgi ve deneyimlerini benden esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Berkün'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Çalışmalarımın yürütülmesi sırasında maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Salim Serkan Nas, Yrd. Doç. Dr. Murat İhsan Kömürcü, Yrd. Doç. Dr. Hakan Ersoy, Öğr. Gör. Nimet Şibil, Araş. Gör. Murat Kankal, Araş. Gör. Serkan oştu ve Araş. Gör. Adem Bayram'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tez yazımım süresince benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Yaşar Özkan Yeşilbağ, Ayhan Kara, Yasemin Sağlam ve Beverly Tıpudan'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugün buralarda bulunmam da büyük emekleri olan ve haklarını asla ödeyemeyeceğim anneme, babama ve aileme sonsuz teşekkürler ederim.

Rahim ŞİBİL

Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ	XVIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Amaç ve Kapsam	1
1.3. Literatür Taraması	3
1.4. Atık Su Çeşitleri	5
1.4.1. Atık Suların Özellikleri.....	5
1.4.2. Fiziksel Özellikler.....	6
1.4.2.1. Atık Suyun İçinde Bulunan Katı Maddeler	7
1.4.2.2. Koku	8
1.4.2.3. Sıcaklık ve pH.....	8
1.4.2.4. Yoğunluk	8
1.4.2.5. Bulanıklık	8

1.4.3.	Kimyasal Özellikler	9
1.4.3.1.	Organik Bileşenler	9
1.4.3.1.1.	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ).....	10
1.4.3.1.2.	Biyokimyasal Oksijen ihtiyacının Matematik İfadesi	11
1.4.3.1.3.	BOİ Ölçme Yöntemleri.....	12
1.4.3.1.4.	Toplam BOİ ve Reaksiyon Hız Sabitinin Hesabı İçin Metotlar	13
1.4.3.1.5.	Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ).....	22
1.4.3.1.6.	Toplam Organik Karbon.....	22
1.4.3.1.7.	Teorik Oksijen İhtiyacı (TeOİ).....	22
1.4.3.1.8.	Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ).....	23
1.4.3.2.	İnorganik Bileşenler.....	23
1.4.3.2.1.	Azot.....	23
1.4.3.2.2.	Fosfor	24
1.4.3.2.3.	pH	24
1.4.3.2.4.	Klorür.....	25
1.4.3.2.5.	Alkalinite	25
1.4.3.2.6.	Kükürt.....	25
1.4.3.2.7.	Ağır Metaller ve Zehirli Bileşikler	25
1.4.3.2.8.	Gazlar.....	25
1.4.4.	Biyolojik Özellikler	26
1.4.4.1.	Patojen ve Saprofit Organizmalar.....	26

1.5.	Evsel Atık Sular	26
1.6.	Endüstriyel Atık Sular	29
1.6.1.	Kirleticilerin Yapıları ve Tipik Değerleri	30
1.7.	Atık Su Kalite Kriterleri ve Standartları	33
1.8.	Kullanılmış Suların Alıcı Ortamlara Etkileri.....	35
1.9.	Atık Suların Arıtılması	41
1.9.1.	Suların ve Atık Suların Arıtılmasında Kullanılan Genel Yöntemler.....	41
1.9.2.	Atık Su Arıtımında Temel Hedefler	42
1.9.3.	Atık Su Arıtma Yöntemleri	42
1.9.3.1.	Fiziksel Arıtma Yöntemleri	43
1.9.3.1.1.	Izgaralar ve Elekler	43
1.9.3.1.2.	Öğütücüler	44
1.9.3.1.3.	Kum Tutucular	44
1.9.3.1.4.	Yüzdürme (Flotasyon)	44
1.9.3.1.5.	Dengeleme Havuzları	44
1.9.3.1.6.	Çökeltim havuzları.....	45
1.9.3.2.	Kimyasal Arıtma Yöntemleri	45
1.9.3.2.1.	pH ve Nötralizasyon	45
1.9.3.2.2.	Yumaklaştırma.....	45
1.9.3.2.3.	Koagülasyon (Kimyasal Pıhtılaştırma).....	45
1.9.3.2.4.	Kimyasal Çöktürme	46

1.9.3.3.	Biyolojik Arıtma Yöntemleri.....	47
1.9.3.3.1.	Aktif Çamur Metodu.....	48
1.9.3.3.2.	Havalandırma Sistemi.....	52
1.9.3.3.3.	Aktif Çamur Metodunun Çeşitleri	53
1.9.3.3.4.	Yöntemin Yüklenmesi	57
1.9.3.3.4.1.	Geleneksel Yükleme	57
1.9.3.3.4.2.	Yüksek Hız Yüklemesi	57
1.9.3.3.4.3.	Uzatmalı Havalandırma Yüklemesi.....	57
1.9.3.3.5.	Geri Dönüş Aktif Çamuru	58
1.9.3.3.6.	Operasyon ve Kontrol.....	58
1.9.3.3.7.	Gıda / Mikroorganizma Oranı (F/M) ve Haznede Ortalama Tutulma Süresi.....	60
1.9.3.3.8.	Nitrifikasyon	62
1.9.3.3.9.	Çamur Hacim İndeksi	63
1.9.3.3.10.	Çamur Yaşı	64
1.9.3.3.11.	BOİ Yükleme ve Havalandırma Süreleri	64
1.9.3.3.12.	Aktif Çamur Tesislerinin Boyutlandırılması	65
1.9.3.3.13.	Damlatmalı Filtreler.....	66
1.9.3.3.13.1.	Yapısal Özellikler	67
1.9.3.3.13.2.	Havalandırma.....	68
1.9.3.3.13.3.	Damlatmalı Filtrelerin Sınıflandırılması.....	69

1.9.3.3.14.	Havalandırmalı lagünler	70
1.9.3.3.15.	Döner Biyolojik Diskler	72
1.9.3.3.15.1.	Yöntem Planlama Değerlendirmesi	74
1.9.3.3.15.2.	Biyodisk Sistemlerinin Gruplandırılması	74
1.9.3.3.15.3.	Biyodisk Yükleme Kriterleri	77
1.9.3.3.15.4.	Atık Karakteristikleri	78
1.9.3.3.15.5.	Biyodisk Prosesleri İçin Fiziksel Araçlar	78
1.9.3.3.15.6.	Şaftlar	79
1.9.3.3.15.7.	Disk Malzemeleri	79
1.9.3.3.15.8.	Hareketi Sağlayan Sistemler	79
1.9.3.3.15.9.	Depolama	80
1.9.3.3.15.10.	Korumalar	80
1.9.3.3.15.11.	Çökeltme Tankları	80
1.9.3.3.15.12.	Biyodisk Yöntem Tasarımı	80
1.9.3.3.15.13.	BOİ Giderimi	81
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	84
2.1.	Materyal ve Metot	84
2.2.	Seriler Metodu İle Toplam BOİ ve Reaksiyon Hız Sabitinin Hesaplanması	85
2.2.1.	C++ da Seriler Metoduyla Reaksiyon Hız Sabiti ve Toplam BOİ Hesabı İçin Akış diyagramı	85
2.3.	Aktif Çamur Tesislerinin Boyutlandırılması	86

2.3.1.	C++ da Aktif Çamur Tesislerinin Tasarımı İçin Akış Diyagramı	86
2.4.	Biyodisk tesislerinin boyutlandırılması	88
2.4.1.	C++ da Biyodisk Tesisinin Tasarımı İçin Akış diyagramı ve Program.....	88
2.5.	Havalandırılmalı lagünlerin boyutlandırılması	90
2.5.1.	C++ da Mekanik Havalandırılmalı Lagün Tasarımı İçin Program.....	90
3.	BULGULAR VE İRDELEME	92
3.1.	C++ da Seriler Methodu İçin Programın Koşturulması.....	92
3.2.	Respirometrik ve Sulandırılmış Yöntemle Bulunan BOİ değerlerinin Verilen Metotlar Kullanılarak Hesaplanan Toplam BOİ ve Reaksiyon Hız Sabiti Değerleri (k , gün ⁻¹ ve L , g/m ³).....	92
3.3.	Respirometrik ve Sulandırılmış BOİ Değerleri İçin Aktif Çamur Tesisinin Boyutlandırılması	96
3.3.1.	Aktif Çamur Tesisinin Düşük Hızlı Boyutlandırması	96
3.3.2.	Aktif Çamur Tesisinin Yüksek Hızlı Boyutlandırması	97
3.4.	Respirometrik ve Sulandırılmış BOİ Değerleri İçin Biyodisk Tesisinin Boyutlandırılması	116
3.5.	Respirometrik ve Sulandırılmış BOİ Değerleri İçin Mekanik Havalandırılmalı Lagünün Boyutlandırılması.....	125
4.	SONUÇLAR.....	136
5.	ÖNERİLER.....	138
6.	KAYNAKLAR	139
7.	EKLER	141
7.1.	C++ Seriler Metoduyla k ve L Hesabı İçin Program.....	141

7.2.	C++ da Aktif Çamur Tesislerinin Tasarımı için Program	141
7.3.	C++ da Biyodisk Tasarımı için Program	144
7.4.	C++ da Mekanik Havalandırmalı Lagün Tasarımı için Program	146

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Atık suların arıtılması, azalan su kaynakları doğrultusunda geri kazanımının sağlanması ve çevreye en az zarar verecek şekilde deşarj edilmesi hızla büyüyen ve endüstrileşen dünya için önemli önlemlerin başında gelmektedir.

Bu çalışmada, atık suların kirlilik derecelerine göre arıtma tesislerinin bilgisayar destekli tasarımları yapılmış ve bu parametre değişimlerinin atık su arıtma tesislerinin boyutlarına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla çalışmanın ilk bölümünde, atık suların genel özellikleri ve zararlı etkileri hakkında bilgi verilmekte ve kirlilik dereceleri incelenmektedir. Bu kirlilik derecelerinin en büyük belirleyicilerinden biri olan biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ) tanımı, ölçüm teknikleri ve toplam BOİ tespitinde kullanılan matematik yöntemler ile devam eden bölüm, atık suların kirlilik derecelerine göre uygulanması gereken arıtma yöntemlerinin anlatılmasıyla sonlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde deneysel 5 günlük BOİ değerlerinin toplam BOİ'nin tespitinde kullanılan matematik yöntemlerden biri olan seriler metoduna uygulanması ve bulunan sonuçların diğer yöntemlerle elde edilen toplam BOİ ve reaksiyon hız sabiti (k_1) değerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. 5 günlük BOİ değerleri ve toplam BOİ değerleri için arıtma tesislerini tasarımları C++ programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, tesislerin boyutlandırılmasında kullanılan bilgisayar programları, hesaplamalarda büyük kolaylıklar sağlamakta ve bu sayede zamandan büyük tasarruflar elde edilmektedir. Tesis boyutlarının BOİ değerleriyle orantılı olarak arttığı görülmüştür. Dolayısıyla atık su arıtma tesisleri boyutlandırılırken deneysel olarak bulunan BOİ₅ değerlerinin yerine toplam BOİ değerlerinin kullanılmasının daha doğru olacağı söylenebilir. Toplam BOİ'nin hesabı için ise diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar veren moment yöntemi ve ona yakın değerler veren seriler yöntemi kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: BOİ, Respirometre, Atık Su Tesisi, Aktif Çamur, Biyodisk, Havalandırılmalı lagün, C++

SUMMARY

Computer-aided Design of Wastewater Treatment Plants Depending on Changing Biological Parameters

Treatment and reuse of wastewaters and dispersal into environment with harmless impacts due to water sources have been decreasing gradually is one of the significant environmental concern in the globalized and industrialized world with the technologic developments.

In this study, the wastewater treatment plants designed according to wastewater characteristic and effects of changes of these parameters on treatment plants design were analyzed. In the first chapter, information about wastewater characteristics and their hazardous effects were given. Pollution levels caused by the wastewaters were investigated. Biochemical oxygen demand (BOD) is one of the essential indicative pollution parameter. Measurement techniques and mathematical methods for the calculation of the ultimate biochemical oxygen demand (L) and reaction rate constant (k) values of BOD were discussed. Wastewater treatment methods to be applied in relation with the wastewater characteristics were described.

In the second chapter, BOD parameters obtained from series method, one of the mathematical method of calculating the ultimate biochemical oxygen demand and reaction rate constant values of 5 days BOD data obtained from respirometric and dilution techniques and a comparative study between series method and the other mathematical methods carried out. The BOD₅ and BOD (L) values obtained from these methods were used in order to design the wastewater treatment plants with C++ programming language and the results were shown with tables and graphics.

According to the obtained results, computer programs are very useful tools and provide big facilities on treatment plants design. The analytical results showed that the treatment plants dimensions increased in proportion to BOD values. It is better using ultimate BOD values for treatment plant design instead of 5 days BOD₅ values. The method of moments provides better results than the other methods. Series method gives close results to the method of moment for calculating ultimate BOD.

Key Words: BOD, Respirometer, Wastewater Treatment Plant, Active Sludge, RBC, Aerated Lagoons, C++

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Atık sularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması	7
Şekil 2. Atık sularda mevcut katı maddelerin içerikleri	10
Şekil 3. BOİ eğrisi	11
Şekil 4. Atık suda bulunan organik maddelerin miktarının belirlenmesinde kullanılan laboratuvar metotlarının miktar bakımından grafiksel gösterimi	23
Şekil 5. Atık su arıtma yöntemleri.....	43
Şekil 6. Geleneksel aktif çamur tesisi.....	51
Şekil 7. Tam karışımli aktif çamur sistemi.....	54
Şekil 8. Piston akışli sistem	55
Şekil 9. Kademeli havalandırmalı aktif çamur sistemi.....	56
Şekil 10. Kontak stabilizasyon aktif çamur sistemi	56
Şekil 11. Bir damlatmalı filtrede akış şeması.....	67
Şekil 12. Damlatmalı filtrenin içyapısı	68
Şekil 13. Havalandırmalı lagün.....	70
Şekil 14. Tipik biyodisk birimleri	73
Şekil 15. Tipik biyodisk grup düzenlemeleri (a) şaftlara paralel akış, (b) şaftlara dik akış, (c) kademeli akış, ve (d) şaftlara paralel konik akış	76
Şekil 16. Bir atık su arıtma tesisinin 3 boyutlu genel görünüşü [28].....	83
Şekil 17. Seriler metodu ile k ve L hesabı için akış diyagramı.....	85
Şekil 18. Aktif çamur tesislerinin tasarımı için akış diyagramı	87
Şekil 19. 4 üniteli, 4 gruplu bir biyodisk sistemi	88
Şekil 20. Biyodisk tesisinin tasarımı için akış diyagramı	89

Şekil 21. Mekanik havalandırılmalı lagün tasarımı için akış diyagramı	91
Şekil 22. Seriler metodu için k ve L değerleri	92
Şekil 23. Respirometrik numuneler için farklı yöntemlerle bulunan toplam BOİ değerleri	94
Şekil 24. Sulandırılmış(% 2) numuneler için farklı yöntemlerle bulunan toplam BOİ değerleri	95
Şekil 25. Dikdörtgen hazne tipi için düşük hızlı yükleme	97
Şekil 26. Dairesel hazne tipi için düşük hızlı yükleme	97
Şekil 27. Dikdörtgen hazne için yüksek hızlı yükleme.....	97
Şekil 28. Dairesel hazne için yüksek hızlı yükleme.....	97
Şekil 29. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin düşük hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri	108
Şekil 30. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin düşük hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri	109
Şekil 31. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin yüksek hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri	110
Şekil 32. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin yüksek hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri	111
Şekil 33. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin düşük hızlı aktif çamur tesislerinin boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması	112
Şekil 34. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin yüksek hızlı aktif çamur tesislerinin boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması	114
Şekil 34. Biyodisk tasarımı için C++ çıktısı.....	116
Şekil 36. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin biyodisk ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri	122
Şekil 37. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin biyodisk ünitelerinin boyutlandırılmasına etkiler	123

Şekil 38. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin biyodisk tesislerinin boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması.....	124
Şekil 39. Dikdörtgen hazne tipi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması ...	126
Şekil 40. Dairesel hazne tipi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması	126
Şekil 41. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin havalandırmalı lagün boyutlandırılmasına etkileri	132
Şekil 42. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin havalandırmalı lagün boyutlandırılmasına etkileri	133
Şekil 43. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin havalandırmalı lagün boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması.....	134

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Atık suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ve onların kaynakları	6
Tablo 2. Evsel atık su özellikleri	28
Tablo 3. Ham evsel atık suyun tipik özellikleri	29
Tablo 4. Endüstrilerde su ihtiyacı ve atık su karakteristikleri	31
Tablo 5. Değişik Atık Sulardaki KOİ, BOİ ₅ ve BOİ ₅ /KOİ Oranları	32
Tablo 6. Su kirliliği yönetmeliği'ne (SKKY) göre atık su sınıflandırması	32
Tablo 7. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre genel kalite kriterleri	34
Tablo 8. Atık suların atık su alt yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar ...	35
Tablo 9. Atık su arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri	49
Tablo 10. Geri dönüş çamurunun tesise giriş suyuna oranı	58
Tablo 11. Aktif çamur tesislerinde tipik hava gereksinimi değerleri.	60
Tablo 12. Aktif çamur tesislerinde BOİ ₅ yüklemeleri ve havalandırma süreleri.....	65
Tablo 13. Damlatmalı filtrelerin karakteristikleri	69
Tablo 14. Biyodiskler için tipik proje bilgileri.	75
Tablo 15. Biyodisk proses tasarımları için hesap prosedürleri.....	82
Tablo 16. Arıtma sistemlerinin verimleri ve işletme özellikleri	82
Tablo 17. Respirometrik BOİ değerlerinin kullanılan yöntemlerle bulunan k (gün ⁻¹) ve L (g/m ³) değerleri	93
Tablo 18. Sulandırılmış (% 2) BOİ değerlerinin kullanılan yöntemlerle bulunan k (gün ⁻¹) ve L (g/m ³) değerleri	93
Tablo 19. Respirometrik 1 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması.....	98
Tablo 20. Respirometrik 2 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması.....	99

Tablo 21. Respirometrik 3 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması.....	100
Tablo 22. Respirometrik 4 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması.....	101
Tablo 23. Respirometrik 5 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması.....	102
Tablo 24. Sulandırılmış 1 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması	103
Tablo 25. Sulandırılmış 2 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması	104
Tablo 26. Sulandırılmış 3 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması	105
Tablo 27. Sulandırılmış 4 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması	106
Tablo 28. Sulandırılmış 5 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması	107
Tablo 29. Respirometrik 1 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	117
Tablo 30. Respirometrik 2 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	117
Tablo 31. Respirometrik 3 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	118
Tablo 32. Respirometrik 4 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	118
Tablo 33. Respirometrik 5 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	119
Tablo 34. Sulandırılmış 1 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	119
Tablo 35. Sulandırılmış 2 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	120
Tablo 36. Sulandırılmış 3 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	120
Tablo 37. Sulandırılmış 4 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	121
Tablo 38. Sulandırılmış 5 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması	121
Tablo 39. Respirometrik 1 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması.....	127
Tablo 40. Respirometrik 2 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması.....	127
Tablo 41. Respirometrik 3 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması.....	128
Tablo 42. Respirometrik 4 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması.....	128

Tablo 43. Respirometrik 5 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması.....	129
Tablo 44. Sulandırılmış 1 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması.....	129
Tablo 45. Sulandırılmış 2 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması.....	130
Tablo 46. Sulandırılmış 3 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması.....	130
Tablo 47. Sulandırılmış 4 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması.....	131
Tablo 48. Sulandırılmış 5 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması.....	131

SEMBOLLER DİZİNİ

A_s	: Grup n düzeyindeki disk yüzey alanı, m^2
ABS	: Alkil Benzen Sülfonatlar
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/ltr veya g/m^3
BOİ ₅	: 5 günlük BOİ değeri, mg/ltr veya g/m^3
BOİ (L)	: Toplam Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, mg/ltr veya g/m^3
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
H ₂ S	: Hidrojen Sülfür
h	: Küçük bir sayıdır
k	: Reaksiyon hız sabiti,
F/M	: Besin / Mikroorganizma oranı
K	: Seçilen tahmini k değeri,
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	: Henüz reaksiyona girmemiş oksitlenebilecek vasıftaki organik madde konsantrasyonu veya toplam BOİ,
LAS	: Lineer Alkil Sülfonat
MLSS	: Karışık Sıvıdaki Askıda Katılar (kg/m^3)
MCRT	: Haznede Ortalama Tutulma Süresi (sa)
Q	: Tesise giren kullanılmış su debisi
r	: Oksijen kullanma hızı
RAS	: Geri Dönüş Çamuru
SA	: Çamur Yaşı
sBOİ	: Çözülebilir Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
SI	: Çamur Envanteri (kg)
SKKY	: Su Kirliliği Yönetmeliği
S _n	: Grup n deki sBOİ konsantrasyonu, mg/l veya g/m^3
SS	: Tesise giren atık sudaki katılar (kg/m^3)
t	: Zaman
TeOİ	: Teorik Oksijen İhtiyacı
TOİ	: Toplam Oksijen İhtiyacı

TOK : Toplam Organik Karbon'dur.
VSS : Karışık Sıvıda Yanabilir Karakterli Askıda Katılar
w : Küçük bir sayı
WAS : Atılan Aktif Çamur
WEF : Dünya Çevre Kuruluşu
y : BOİ değeri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyada 1,4 milyar km³ su mevcut olup bunun büyük bölümü okyanus ve denizlerde tuzlu su, küçük bölümü ise tatlı su şeklinde bulunur. Bu tatlı suyun %99'dan fazlası kutuplarda ve buzullarda buz olarak bulunmaktadır ya da çok derinde ve çıkarılması çok pahalı olan yeraltı suyu şeklindedir. Dolayısıyla insanların yararlanabileceği su %0,003 civarındadır. Diğer bir deyişle dünyadaki toplam su miktarı 100 litre olsaydı insanların kullanabileceği su miktarı sadece bir çay kaşığının yarısı kadar olacaktı. Bugün yeryüzü nüfusunun beşte biri su kaynaklarının yanlış kullanımı, kirlilik, alan kaybı gibi nedenlerden dolayı sağlıklı, temiz ve içilebilir suya sahip değil. Günümüzde yaklaşık 1,3 milyar kişi su sıkıntısı çekmektedir. Gelecek 25 yılda bu sayının 2 katına çıkacağı tahmin ediliyor. Dünya nüfusunun % 40'ını barındıran 80 ülke şimdiden su sıkıntısı çekmektedir. Nüfusun hızla artması, buna karşılık su kaynaklarının giderek azalması sebebiyle su ihtiyacı her geçen gün artmaktadır [1].

Ülkemizde ise tatlı su kaynakları oldukça sınırlıdır ve ihtiyaca ancak cevap vermektedir. Türkiye'nin kullanılabilir su potansiyeli 110 milyar m³ olup, bunun %16'sı içme ve kullanmada, %72'si tarımsal sulamada, %12'si de sanayide tüketilmektedir. Türkiye su kıtlığı çeken ülkeler arasında yer almamakla birlikte, hızlı nüfus artışı, kirlenme ve yıllık yağış ortalamasının dünya ortalamasından düşük olması; mevcut kaynakların daha dikkatli kullanılmasını ve kirlenmeye karşı gerekli tedbirlerin bir an önce alınmasını gerektirmektedir. Bu tedbirlerin en önemlilerinden biri de güneşin sağladığı enerji ile tabiatta katı, sıvı, gaz halinde devamlı bir döngü içinde olan suyun, insanlar tarafından bu döngüden alınıp kullanıldıktan sonra arıtılarak tekrar bu döngüye verilmesi gelmektedir.

1.2. Amaç ve Kapsam

Atık suların arıtılması, azalan su kaynakları doğrultusunda geri kazanımının sağlanması ve çevreye en az zarar verecek şekilde deşarj edilmesi hızla büyüyen ve endüstrileşen dünya için önemli önlemlerin başında gelmektedir.

Evsel, endüstriyel ve tarımsal alanlarda kirletilen suların kirlilik derecelerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan parametre Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)'dir. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, belirlenmiş şartlar altında organik maddelerin stabilizasyonu (inorganik maddelere dönüştürülmesi) sırasında mikroorganizmalar tarafından kullanılan oksijen miktarı olarak tanımlanır. Atık su arıtma tesislerinin ekonomik hesapları ve bu tesislerin işletmelerinin kontrolü ile su kirlenmesi üzerinde yapılan araştırmalar büyük ölçüde BOİ ölçümlerine dayanmaktadır. Genellikle kullanılan suların sadece 5 günlük BOİ değerleri ölçülür. Fakat toplam biyokimyasal oksijen ihtiyacı (L) ve reaksiyon hız sabiti (k) değerlerinin tayini bu suların tam olarak karakterize edilebilmeleri için gerekmektedir. Bu parametrelerin deneysel olarak elde edilebilmeleri için 5 günden uzun süren BOİ deneylerine ihtiyaç vardır. Bu deneyler ise zaman alıcı zor ve pahalı olmaktadır. Bundan dolayı BOİ reaksiyonunun matematiksel ifadesinin bulunması ve bundan yararlanılarak L ve k değerlerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir.

Bu amaçla, bu biyolojik parametre değişimlerine bağlı olarak arıtma tesislerinin bilgisayar destekli tasarımları yapılmış ve bu parametre değişimlerinin atık su arıtma tesislerinin boyutlarına etkileri incelenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, atık suların genel özellikleri ve zararlı etkileri hakkında bilgi verilmekte ve kirlilik dereceleri incelenmektedir. Bu kirlilik derecelerinin en büyük belirleyicilerinden biri olan biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ) tanımı, ölçüm teknikleri (respirometreler ve sulandırma teknikleri) ve toplam BOİ tespitinde kullanılan matematik yöntemler (En Küçük Kareler, Log Farklılıklar, Grafikselleştirme Metodu, Momentler Metodu ve Seriler Metodu) ile devam eden bölüm, atık suların kirlilik derecelerine göre uygulanması gereken arıtma yöntemlerinin anlatılmasıyla sonlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde deneysel (respirometrik ve sulandırılmış) 5 günlük BOİ değerlerinin toplam BOİ'nin tespitinde kullanılan matematik yöntemlerden biri olan seriler metoduna uygulanması ve bulunan sonuçların diğer yöntemlerle elde edilen toplam BOİ ve reaksiyon hız sabiti (k_1) değerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. 5 günlük BOİ değerleri ve toplam BOİ değerleri için arıtma tesislerinin (aktif çamur, biyodisk ve havalandırılmalı lagün) tasarımları C++ programla dili kullanılarak yapılmış ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

1.3. Literatür Taraması

Muslu (1994) ve Duncan (1999)'a göre [2], kullanılmış suların karakteristik özelliklerini tespit etmede; minimum, ortalama ve maksimum kurak hava akımı, pik debi, maksimum yağışlı hava akımı ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam askıdaki katı madde, pH, toplam çözünmüş katı madde, toplam N, P ve zehirli (toksik) maddeleri içine alan kimyasal parametreler göz önünde bulundurulur. Korozif durumların meydana gelme olasılığını araştırmak üzere hidrojen sülfür tayini gereklidir. Atık suların arıtılabilirlik özelliklerinin tespiti için yeni karakteristiklere ihtiyaç olduğu bilinmektedir. Bunlar, mikroorganizmaların gelişmesi için lüzumlu olan, kalsiyum, kobalt, bakır, demir, magnezyum, manganez ve çinko gibi birçok metallerin analizini içine almaktadır. Katı maddelerin tayini, atık su analizi için yapılan deneylerin en önemlilerinden biridir. Atık suyun içinde bulunan katı maddelerin altı genel tipi mevcuttur: Izgarada Tutulanlar, Kum ve Çakıl, Yağ, Köpük ve Gres, Çökebilen Asılı Katı Maddeler, Çökemeyen Asılı Katı Maddeler ve Çözünmüş Katı Maddeler.

Nemerow (1971)'a göre [3], kirletilmemiş suların BOİ değerleri genellikle 2 mg/l'te veya daha altındadır. Kirletilmiş sularda ise BOİ konsantrasyonu 10 mg/l'te ulaşabilir. Evsel atıkların BOİ değerleri 100-600 mg/l'te, endüstriyel atıkların BOİ değerleri ise > 1000 mg/l'te civarındadır.

Berkün (1974)'e göre [4], BOİ değerlerini iki yöntem (respirometreler ve standart sulandırma tekniği) ile belirlemek mümkündür. Her iki yöntemin birbirlerine kıyasla bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Standart sulandırma tekniği ile BOİ ölçümlerinde numuneler sulandırılarak kullanılır. Cam bir şişe içerisine konulan sulandırılmış numunenin başlangıç ve inkubasyon sonundaki (5 gün) çözünmüş oksijen içeriği arasındaki farktan BOİ değeri hesaplanır. Son yıllarda respirometreler atık su arıtma tesislerindeki koşulları daha iyi temsil etmeleri sebebiyle yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. Respirometrik ölçümlerde numuneler sulandırılmadan kullanılır. Magnetik karıştırıcı koyu renkli deney şişelerine konulan numunelerden biyokimyasal reaksiyon sonucu çıkan CO₂ gazı KOH çözeltisi ile emilir ve kullanılan O₂ miktarı organik maddeyi parçalamak için atık su üzerindeki gaz fazda bulunan oksijenin çözünerek toplam basıncı düşürmesiyle manometrelerden okunur, bu değer uyum faktörüyle çarpılır ve BOİ bulunur.

Toprak (1994)'a göre [5], evsel atık sular, toplumun içme ve kullanma amacı için getirilen suyun sarf edildikten sonraki kısmıdır. Bu miktar kullanılan suyun yaklaşık olarak

% 70-80'ini oluşturmaktadır. Bu sular çoğunlukla mutfak evyelerinden, banyolardan, lavabolardan, tuvaletlerden, çamaşırhanelerden ve döşeme ağızlıklarından kanallara gelirler. Kirliliği oluşturan maddeler atık su içerisinde tam çözülmüş, yarı çözülmüş (kolloidal) ve çözünmemiş halde bulunmaktadırlar. Bu maddelerin içerisindeki oranları bölgenin ekonomik, topografik, nüfus, yüzeysel suların taşkın ve kurak hava seviyelerine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Atık suların kirliliği oluşturan maddeleri organik veya inorganik (mineral) yapıdadırlar. Hem organik hem de inorganik maddeler toksik etki gösterebilmektedirler. Toksik maddeler mikrobiyal hayatı bozar ve hem atık su arıtma tesislerinde hem de akarsularda kendi kendine arıtımla ilgili biyolojik hareketleri durdurur. İnorganik maddelerde bu durum kimyasal bileşikleri oluşturur. NaCl(tuz), MgO, SiO₂ oluşan bu bileşiklerden bazılarıdır. Bu kimyasal bileşiklerin içerisinde hiçbir şekilde karbon bulunmamakla beraber nadiren karbonun oksitleri ile karşılaşılabilir. Bunlar karbon asidi, tuzlar, karbonatlar, sodyum karbonat (NaCO₃, soda) ve karpitler ile kalsiyum karpit (CaC₂)'dir. Mineral maddeler, bozulmayarak ve ayrışma göstermeyerek atık su arıtma tesislerinde tehlike oluşturmazlar.

Organik maddeler ise karbon bileşikleri, karbonhidratlar (şeker, C₁₂H₂₂O₁₁), yağlar, proteinler, bitki artıkları, insan ve hayvan dışkıları, temizlik maddeleri (sabun,deterjan) ve diğer değişik maddeleri içermektedir. Organik maddeler atık su içerisinde toplam kirliliğin% 50-60'ı gibi bir değer taşımaktadır. Organik maddeler bozulurlar ve ayrışırlar. Bu ayrışma bir taraftan saf kimyasal oluşumlarla yürürken diğer taraftan bir seri madde değişim hareketleri ile olur. Böylece biyokimyasal prosesler içinde bir ayrışmadan söz edilir. Bu reaksiyonlarda organik yük maddeleri kendini öyle değiştirir ki, bu maddelerin akarsular üzerindeki zararlı etkileri bu sayede azaltılabilir. Organik maddeler biyolojik olarak basit (şeker vb.), zor (yağ vb.) ve ayrışmazdırlar. Evsel atık suların büyük bir kısmı genelde basit olarak ayrışmaktadır.

NAS (2000) [6] tarafından, hidrolik ve biyolojik parametre değişimlerinin akarsularda su kalitesi ve akarsu optimizasyonuna etkileri araştırılmıştır. Evsel atık suların nitelik ve nicelik yönünden incelenmesi yapılmış, atık suların zararlı etkileri, arıtımı ve deşarj standartları verilmiştir. Ayrıca nehirlerde oksijen eksikliğinin tespitinde kullanılan SAG eğrisinin tüm parametrelerinin yer aldığı matematik model açıklanmıştır. BOİ'nin tanımı, ölçüm teknikleri ve toplam BOİ'nin hesabı için verilen metotlar anlatılarak 5 günlük deneysel BOİ değerlerinin farklı matematik yöntemlere uygulanması ve elde edilen toplam BOİ ve biyooksidasyon hız sabiti değerlerinin SAG eğrisi ve arıtma tesislerinin

boyutlarına etkileri incelenmiştir. Rearasyon katsayısının SAG eğrisi, metal zehirliliğinin (HgCl_2 , HgSO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, CuSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, ve ZnSO_4 bileşikleri) BOİ üzerindeki etkilerinin incelenmesi de yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kullanılan ölçüm tekniklerinin, matematik modellerin ve biyolojik parametrelerin boyutlandırmalarda büyük farklılıklar oluşturduğunu ortaya çıkarmıştır.

1.4. Atık Su Çeşitleri

Atık sular, toplumun çeşitli kullanımlar sonucu kirlettiği sulardır. Konutlardan, kurumlardan, ticari ve endüstriyel kuruluşlardan atılan atıkları taşıyan sıvı veya su ile yeraltı, yüzeysel ve yağmur suyu gibi suların bir bileşimi olarak tanımlanabilir [7]. Atık sular geldikleri kaynaklara göre şu şekilde gruplandırılabilirler.

1. Yağmur suları
2. Zirai aktivite suları
3. Evsel atık sular
4. Endüstriyel atık sular
5. Katı atık sızıntı suları

Doğaya bırakılan her türlü atık çeşidinin çevreye verdiği zararlar günden güne artmakta ve giderek kontrolden çıkmaktadır. Çevreye bırakılan atıkların arasında, sıvı atıklar çok önemli bir yer tutmaktadır. Sıvı atıkların böylesine önemli olmasına sebep olan özellikler ise, doğal eğimin de etkisiyle kendi başına akışa geçmesi veya akarsulara karışması sonucu kolayca taşınarak kirliliğini kolayca yayması ve akışın sonunda deniz veya göl gibi büyük bir su kaynağına ulaşarak buralarda birikmesidir. Önemli alıcı ortamların başında gelen denizlerin, özellikle üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizi düşünürsek atık sular tarafından kirlenmelerinin önlenmesi son derece büyük önem taşımaktadır [8].

1.4.1. Atık Suların Özellikleri

Atık sular fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ile karakterize edilir. Her bir özellik ayrı bir birimle ifade edilmiş ve bunların tayininde kullanılan deneyler standartlaştırılmıştır. Bu özellikler arıtma tesisinin planlanmasında ve işletilmesinde büyük önem taşır. Tablo 1’de atık suların özellikleri ve onların kaynaklarını gösterilmektedir.

Tablo 1. Atık suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ve onların kaynakları

Özellikler	Kaynaklar
Fiziksel Özellikler	
Renk	Evsel ve endüstriyel atıklar ve organik maddelerin doğal bozulması
Koku	Atık suların ve endüstriyel atıkların bozulması
Katılar	Evsel su kaynakları, Evsel ve endüstriyel atıklar, toprak erozyonu, sızma/sızdırma
Sıcaklık	Evsel ve endüstriyel atıklar
Kimyasal Bileşenler	
ORGANİK	
Karbonhidratlar	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Yağlar (bitkisel, hayvansal, gres)	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Pestisidler	Tarımsal atıklar
Fenoller	Endüstriyel atıklar
Proteinler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Öncelikli kirleticiler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Yanabilen organik bileşenler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Diğerleri	
İNORGANİK	
Alkalinite	Evsel atıklar, evsel su kaynakları ve yeraltı sızıntı suları
Klor	Evsel atıklar, evsel su kaynakları ve yeraltı sızıntı suları
Ağır metaller	Endüstriyel atıklar
Nitrojen	Evsel ve tarımsal atıklar
Ph	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Fosfor	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar ve doğal olarak akışa geçen sular
Öncelikli kirleticiler	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Sülfür	Evsel su kaynakları ve evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
GAZLAR	
Hidrojen sülfid	Evsel atıkların bozulması
Metan	Evsel atıkların bozulması
Oksijen	Evsel su kaynakları ve yüzey sularının sızması
Biyolojik Bileşenler	
Hayvanlar	Açık su kaynakları ve arıtma tesisleri
Bitkiler	Açık su kaynakları ve arıtma tesisleri
Protistler:	
Eubacteria	Evsel atıklar, yüzey sularının sızması ve arıtma tesisleri
Archaeobacteria	Evsel atıklar, yüzey sularının sızması ve arıtma tesisleri
Virüsler	Evsel atıklar

1.4.2. Fiziksel Özellikler

Atık suda bulunan katı maddelerin derişimi, suyun sıcaklığı, pH değeri, kokusu, rengi ve bulanıklığı atık suyun en önemli fiziksel parametrelerini oluşturur ve bunlar fiziksel kirliliğe sebep olur.

1.4.2.1. Atık Suyun İçinde Bulunan Katı Maddeler

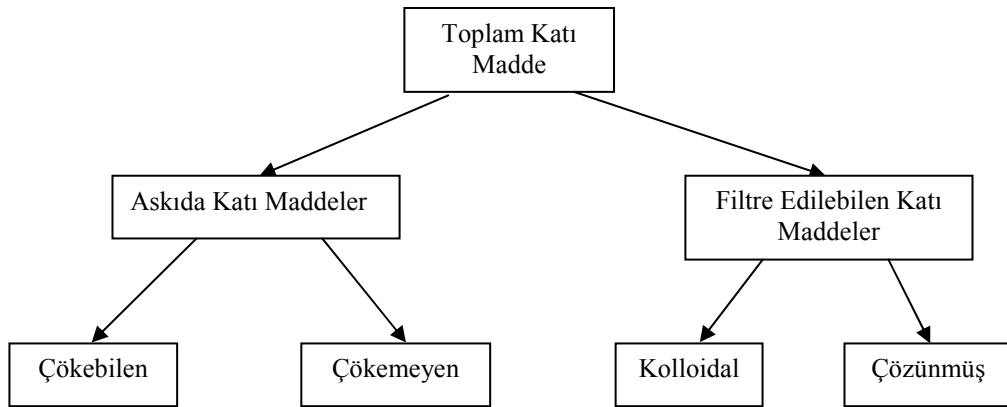
Atık suyun içinde bulunan katı maddelerin altı temel tipi mevcuttur : (a) ızgarada tutulanlar; (b) kum ve çakıllar; (c) yağ, köpük ve gres; (ç) çökelebilen asılı katı maddeler; (d) çökemeyen asılı katı maddeler ve (e) Çözünmüş katı maddeler.

Izgarada Tutulan Maddeler; bu maddeler genel olarak kaba ızgaralarda ve ince ızgaralarda tutulanlar olmak üzere iki çeşide ayrılırlar. Kaba ve ince ızgaralarda tutulanların miktarı bir günde toplanan malzemeyi drene ettikten sonra tartarak ölçülür. Sonuç kg olarak bir günde toplanan ıslak malzeme cinsinden bildirilir.

Kum ve Çakıl; bu maddeler başlıca kum, toprak ve küçük taş parçalarından ibarettir. Bitki tohumları, mısır ve gübre parçaları da genel olarak kum ve çakıl arasında bulunurlar. Genel olarak kum ve çakıllar, suları süzmeye bırakıldıktan sonra, bir gün içinde toplanan malzemeyi tartmak suretiyle ölçülürler.

Yağ ve Köpükler; suyun yüzündeki yüzücü cisimler başlıca gres, yağ, petrol, sabun ve üzeri gresle kaplanmış maddelerden oluşur. Bunlar toplanan maddeleri bir tankın içinde su ve yağlar birbirinden iyice ayrılana kadar dinlenmeye bırakmak suretiyle ölçülebilir.

Toplam Katı Maddeler; asılı katı maddeler atık su içindeki 0,001 mm'den büyük çaplı tanelerden oluşur. Pratikte bunlar 0,001 mm'den daha küçük taneleri geçirecek porselen pota şeklindeki filtrelerden süzülür ve potada tutulan maddeler asılı katı madde, süzüntü içindekilerde çözünmüş madde olarak ifade edilir. Bu ikisinin toplamı, toplam katı maddeyi verir. Şekil 1' de atık sularda mevcut katı maddelerin mevcut sınıflandırılması yapılmıştır.



Şekil 1. Atık sularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması

1.4.2.2. Koku

Atık sularda koku genellikle organik maddelerin bozuşmasından veya atık suya verilen çeşitli maddelerden kaynaklanır. Koku, atık su toplanması, arıtılması ve uzaklaştırılması ile ilgili tesislerin tasarımında göz önüne alınması gereken önemli bir parametredir.

1.4.2.3. Sıcaklık ve pH

Sıcaklık ve pH, nehirler ve göllerdeki bitkisel ve biyolojik hayatı etkileyen önemli parametrelerdendir. Yüksek sıcaklıkta çevreye bırakılan atık su, karıştığı nehir suyunun sıcaklığını doğal olarak arttıracaktır. Oksijenin yüksek sıcaklıkta, sudaki çözünürlüğü azalacağından, nehir suyundaki biyolojik oksijen, biyolojik hayat için yetersiz kalacaktır. Ayrıca suyun sıcaklığı, kimyasal reaksiyonları ve reaksiyon hızlarını, sucul hayatı ve suyun faydalı kullanımlar için uygunluğunu etkilemektedir. Örneğin bakteriyel faaliyetler için optimum sıcaklık aralığı 25-35°C'dir. Aerobik çürüme ve nitrifikasyon, sıcaklık 50°C'ye yükseldiğinde durur. Sıcaklık 15°C'ye düştüğünde ise metan üreten bakteriler tamamen pasif hale gelir ve 5°C'de ototrofik nitrifikasyon bakterileri fonksiyonlarını kaybederler. 2°C'de karbonlu maddeler üzerinde etkili olan kemoheterotrofik bakteriler cansızlaşır.

1.4.2.4. Yoğunluk

Atık suyun yoğunluğu, birim hacimdeki kütesidir (kg/m^3). Sedimentasyon tanklarında ve diğer arıtma ünitelerinde yoğunluk akımlarının oluşumuna yol açtığı için atık suyun önemli bir fiziksel özelliğidir. Yoğunluk ve özgül ağırlık sıcaklığa bağlıdır ve atık sudaki toplam katı madde konsantrasyonuyla değişir.

1.4.2.5. Bulanıklık

Suyun ışık geçirme özelliğinin bir ölçüsü olan bulanıklık, deşarj sularının ve doğal suların kolloidal madde ve kalıntı süspanse madde bakımından kalitesini gösterir. Suyun bulanıklık derecesi (türbiditesi), çok güvenilir olmamakla beraber suyun içerdiği katı maddenin derişimi hakkında bilgi verebilir. Bulanıklık derecesi, sudaki katıların belli

şiddetteki ışığı absorbe etme derecesi veya ışığı dağıtma derecesi cinsinden ifade edilir. Suyun içindeki askıda kolloidal katıların suya verdiği renge “zahiri renk” denir ve bu renk genellikle gridir. Atık sularda görülen diğer renkler suya endüstriyel atıkların katıldığıının göstergesidir.

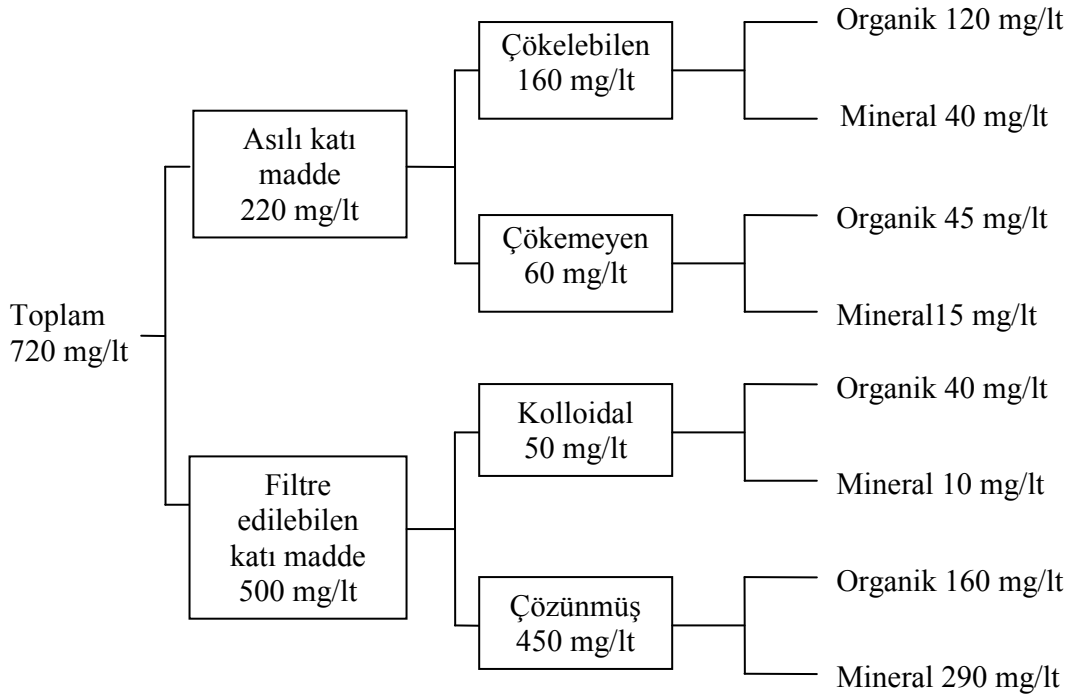
1.4.3. Kimyasal Özellikler

Atık suyun kimyasal özelliklerini, içerdiği çözülmüş organik maddeler, toksik maddeler, azotlu ve fosforlu maddeler belirler. Atık sularda bulunan başlıca organik bileşikler, proteinler, karbonhidratlar, yağlar, petrol atıkları ve üredir. Bunların yanında deterjanlar, fenoller ve zirai mücadele ilaçları (pestisidler) gibi çeşitli sentetik organik moleküller de son zamanlarda gittikçe artan konsantrasyonlarda olmak üzere atık suyun bünyesinde yer almaktadır. Orta kirlilikte bir atık suda asılı katı maddelerin takriben % 75 ve filtre edilebilen katıların takriben % 40'ı organik karakterlidir. Atık suyun içerdiği organik maddeler BOİ (Biyolojik Oksijen İhtiyacı), KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), TOİ (Toplam Oksijen İhtiyacı), TOK (Toplam Organik Karbon) gibi kimyasal parametreler cinsinden ifade edilir. Atık suların içerdiği inorganik bileşikler ise toksik olmayıp, ancak çok yüksek dozlarda kirlenici olarak düşünülebilirler. Kum, çakıl ve mineral tuzlar inorganik katılar arasında sayılırlar.

Fenol ve türevleri önemli kirlenicilerdendir. Zehirleyici etkiye sahip olmaları nedeni ile biyolojik bozunmayı kısıtlandırmaktadırlar. Ayrıca sularda kötü tat ve kokmaya neden olurlar. Ayrıca atık sularda çeşitli derişimlerde çözülmüş gazlar da bulunur. Oksijen yüzeysel havalanma sonucu suya geçer ve atık su arıtımında çözülmüş oksijen miktarı önemli bir kimyasal parametredir.

1.4.3.1. Organik Bileşenler

Atık suda bulunan organik maddelerin miktarının belirlenmesinde kullanılan laboratuvar metotları Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) ve Toplam Organik Karbon'dur (TOK). Şekil 2 atık sularda bulunan mevcut katı maddelerin içeriklerini göstermektedir



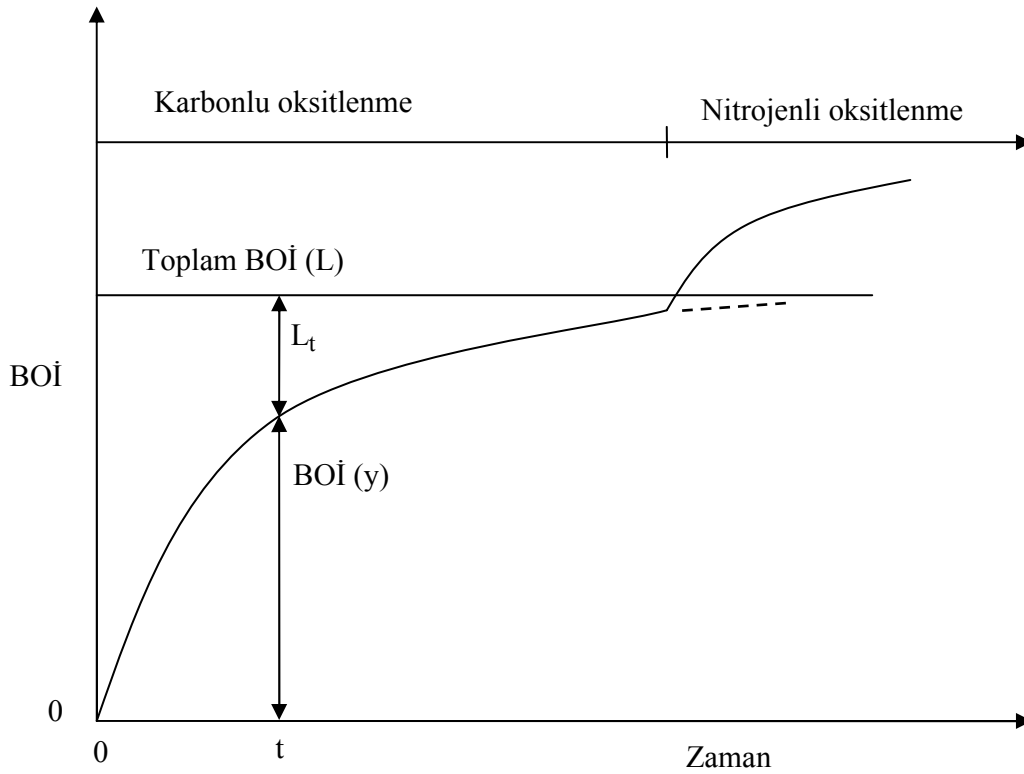
Şekil 2. Atık sularda mevcut katı maddelerin içerikleri

1.4.3.1.1. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Evsel, endüstriyel ve tarımsal alanlarda kirletilen suların kirlilik derecelerinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan parametre Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)' dir. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı, belirlenmiş şartlar altında organik maddelerin stabilizasyonu (inorganik maddelere dönüştürülmesi) sırasında mikroorganizmalar tarafından kullanılan oksijen miktarı olarak tanımlanır. BOİ, sudaki organik madde miktarı ile orantılı olarak değiştiğinden, sudaki organik madde miktarının bir ölçüsü olarak da kullanılır. Biyokimyasal oksidasyon, su içinde yanma olup bu esnada suda çözünmüş oksijen kullanılır. Ne kadar fazla oksijen sarf ediliyorsa, sudaki organik madde miktarı o kadar fazla diğer bir ifadeyle atık su o kadar kirli demektir. Atık su arıtma tesislerinin ekonomik hesapları ve bu tesislerin işletmelerinin kontrolü ile su kirlenmesi üzerinde yapılan araştırmalar büyük ölçüde BOİ ölçümlerine dayanmaktadır.

Genellikle kullanılmış suların sadece 5 günlük BOİ değerleri ölçülür. Fakat toplam biyokimyasal oksijen ihtiyacı (L) ve reaksiyon hız sabiti (k) değerlerinin tayini bu suların tam olarak karakterize edilebilmeleri için gerekmektedir. Bu parametrelerin deneysel olarak elde edilebilmeleri için 5 günden uzun süren BOİ deneylerine ihtiyaç vardır. Bu

deneyler ise zaman alıcı zor ve pahalı olmaktadır. Bundan dolayı BOİ reaksiyonunun matematiksel ifadesinin bulunması ve bundan yararlanılarak L ve k değerlerinin hesaplanması yoluna gidilmiştir. Şekil 3'te BOİ eğrisinin zamana bağlı ifadesi görülmektedir.



Şekil 3. BOİ eğrisi

1.4.3.1.2. Biyokimyasal Oksijen ihtiyacının Matematik İfadesi

Biyokimyasal oksijen ihtiyacının iyi bir yaklaşımla matematik ifadesinin bulunabilmesi için kimyasal kinetik denklemlerden hareket etmek gerekmektedir. Birinci ve ikinci sıra kimyasal reaksiyonlardan daha yüksek sırada olan reaksiyonlar çok nadiren meydana gelmektedir. Bundan dolayı BOİ reaksiyonunun birinci ve ikinci sıra kimyasal reaksiyon denklemlerinden daha yüksek sıradaki denklemler ile ifadesi yolundan kaçınılmıştır.

Birinci sıra kimyasal reaksiyon denkleminde reaksiyon hızı, maddenin henüz reaksiyona girmemiş olan kısmının konsantrasyonu ile orantılıdır. Organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından oksitlenmesi işlemi sırasında oksitlenme hızının, reaksiyona

henüz girmemiş olan oksitlenebilecek vasıftaki organik maddenin konsantrasyonu ile orantılı olduğu kabul edilirse, bunun matematiksel denklemi olarak,

$$\frac{dL}{dt} = -kL \quad (1)$$

verilebilir. Denklemden;

L: Henüz reaksiyona girmemiş oksitlenebilecek vasıftaki organik madde konsantrasyonu, veya toplam BOİ,

k: Reaksiyon hız sabiti,

t: Zaman.

(1) diferansiyel denkleminin çözümü ile elde edilen denklem,

$$\frac{L_t}{L} = e^{-kt} \quad (2)$$

olur. Burada, t süresi sonunda daha henüz oksitlenmemiş organik maddelerin oksijen ihtiyacı L_t dir. (Şekil 3). İstenilen sarf edilmiş oksijen miktarı, (BOİ) olduğundan, başlangıçtan t anına kadar olan BOİ'yi (y) ile göstererek

$$y = L - L_t \quad (3)$$

$$y = L(1 - e^{-kt}) \quad (4)$$

birinci sıra BOİ denklemi olarak bulunur [9].

1.4.3.1.3. BOİ Ölçme Yöntemleri

BOİ değerlerini deneysel olarak belirlenirken iki yöntem kullanılır. Bunlar respirometreler ve standart sulandırma tekniğidir. Her iki yöntemin birbirlerine kıyasla bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Standart sulandırma tekniği ile BOİ ölçümlerinde numuneler sulandırılarak kullanılır. Cam bir şişe içerisine konulan sulandırılmış numunenin başlangıç ve inkubasyon sonundaki (5 gün) çözünmüş oksijen içeriği arasındaki farktan BOİ değeri hesaplanır. Son yıllarda respirometreler atık su arıtma tesislerindeki koşulları daha iyi temsil

etmeleri sebebiyle yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. Respirometrik ölçümlerde numuneler sulandırılmadan kullanılır. Magnetik karıştırıcılı koyu renkli deney şişelerine konulan numunelerden biyokimyasal reaksiyon sonucu çıkan CO₂ gazı KOH çözeltisi ile emilir ve kullanılan O₂ miktarı organik maddeyi parçalamak için atık su üzerindeki gaz fazda bulunan oksijenin çözünerek toplam basıncı düşürmesiyle manometrelerden okunur, bu değer uyum faktörüyle çarpılır ve BOİ bulunur.

1.4.3.1.4. Toplam BOİ ve Reaksiyon Hız Sabitinin Hesabı İçin Metotlar

Yukarıda verilen denklemlerde kullanılan k_1 ve L 'nin tayini için 1920'li yılların başından itibaren çeşitli metotlar geliştirilmiştir.

Toplam Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (L) ve reaksiyon hız sabiti (k_1) değerlerinin gerçeğe yakın olarak elde edilebilmeleri için belirli zaman aralıklarıyla ve yeterli sayıda yapılan deneylerden elde edilen BOİ değerlerinin, birinci ve ikinci sıra BOİ denklemlerinde kullanılmalrı gerekmektedir. Bunun içinde istatistiksel bazı metotlardan yararlanılmaktadır. Birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları bulunan bu metotlar ayrıntılarıyla aşağıda verilmektedir;

1. En Küçük Kareler Metodu
2. Eğim Metodu
3. Grafik Metot
4. Momentler Metodu
5. Log Farklılıklar Metodu
6. Karelerin Yüzeysel Toplamı Metodu
7. Seriler Metodu

1.4.3.1.4.1. En Küçük Kareler Metodu

Reed-Theriault tarafından 1927 yılında verilen en küçük kareler metodu, ilk metot olup güvenilir neticeler vermektedir. Metodun güvenilebilirliği ne kadar şüphe götürmez ise de işlemlerin çok olması metodun önemli bir dezavantajıdır. Reaksiyon hız sabiti değerinin öncelikle tahmini bir değer olarak alınması ve neticede gerçek değere yakın bir değer bulunamaması halinde bütün hesapların tekrarı gerekmektedir. Bu nedenle mühendisler için cesaret kırıcı bir metot olmuştur. Toplam BOİ ve reaksiyon hız sabiti

değerlerinin hesaplanmasının önemi daha sonraki yıllarda daha iyi anlaşılmış, yeni ve daha basit metotların bulunması için çalışılmıştır.

Bu metodun esas prensibi birinci sıra BOİ denkleminin, reaksiyon hız sabiti (k) için keyfi bir değer seçilerek lineer hale getirilmesidir. Lineer hale getirilen denkleme en küçük kareler metodunun uygulanması ile L ve k değerleri hesap edilebilir.

Kaide olarak gözlemsel hataları önleyebilmek için birinci sıra BOİ denklemini aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y = L[1 - e^{-k(t+w)}] \quad (5)$$

Burada w küçük bir sayıyı temsil etmekte ve y ile t değerlerinin tayini sırasında yapılan gözlemsel hataların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu denklemini lineer hale getirebilmek için tahmini olarak yaklaşık bir değer k için kabul edilerek,

$$k = K' + h \quad (6)$$

yazılabilir. Burada, K' seçilen tahmini k değeri, h küçük bir sayıdır. Aynı düşünce ile,

$$w = w' + i \quad (7)$$

yazılırsa,

$$t + w = t + w' + i = t' + i \quad (8)$$

olarak verilebilir. Bu denklemler çeşitli yer değiştirmeler ile (5) denkleminde uygulanarak aşağıdaki lineer denklem bulunur.

$$y = L(1 - e^{-K't'}) + Lh(t'e^{-K't'}) + Lik(e^{-K't'}) \quad (9)$$

veya,

$$y = af_1 + bf_2 + cf_3 \quad (10)$$

burada, $a = L$, $b = Lh$, $c = Lik = Li(K' + h)$, $f_1 = 1 - e^{-K't}$, $f_2 = t'e^{-K't}$, $f_3 = e^{-K't}$ olmaktadır. Sabit hataları ihmal edilirse (9) ve (10) numaralı denklemler

$$y = L(1 - e^{-K't}) + Lh(t'e^{-K't}) \quad (11)$$

$$y = af_1 + bf_2 \quad (12)$$

olarak verilebilir. (10) ve (12) numaralı denklemler için artık hatalarının toplam karelerini veren denklemler,

$$R = \sum(Y - af_1 - bf_2 - cf_3)^2 \quad (13)$$

$$R = \sum(Y - af_1 - bf_2)^2 \quad (14)$$

a , b , c sabitleri gerçeğe en yakın değerlerini R değeri minimuma ulaşması halinde alırlar. Bu şartları sağlayan denklemler,

$$\frac{dR}{da} = \sum f_1 y - a \sum f_1^2 - b \sum f_1 f_2 - c \sum f_1 f_3 = 0 \quad (15)$$

$$\frac{dR}{db} = \sum f_2 y - a \sum f_1 f_2 - b \sum f_2^2 - c \sum f_2 f_3 = 0 \quad (16)$$

$$\frac{dR}{dc} = \sum f_3 y - a \sum f_1 f_3 - b \sum f_2 f_3 - c \sum f_3^2 = 0 \quad (17)$$

olmaktadır. Aynı şartları (14) denklemini için sağlayan denklemler,

$$\frac{dR}{da} = \sum f_1 y - a \sum f_1^2 - b \sum f_1 f_2 = 0 \quad (18)$$

$$\frac{dR}{db} = \sum f_2 y - a \sum f_1 f_2 - b \sum f_2^2 = 0 \quad (19)$$

olur. Cebirsel metotlarla yukarıdaki denklem takımlarının çözümleri ile a,b,c, ve bunlar yerlerine uygulanarak da L ve k değerleri hesaplanabilir. Hesaplanan k değeri, seçilen k değerinden çok sapma verirse, yeni bir k değeri seçilerek hesapların tekrarlanması gerekmektedir [10].

1.4.3.1.4.2. Log Farklıklar Metodu

Fair (1936) tarafından geliştirilen bu metot birinci sıra kinetikleri ile uyumsuzluk taşımaktadır. Birinci sıra BOİ denklemlerinin diferansiyel denklemi olarak,

$$\frac{dy}{dt} = r = Lke^{-kt} \quad (20)$$

verilebilir. Burada r oksijen kullanma hızını göstermektedir. Bu diferansiyel denklemin lineer hali olarak,

$$\ln(r) = \ln(Lk) - kt \quad (21)$$

denklemi verilebilir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (y) değerlerinin her gün için alınan değerleri arasındaki farklar lineer tarafından zaman olan yarılogamitrik bir kağıda noktalanırsa, lineer doğrunun sıfırdaki kesim noktası Lk değerine eşittir. Grafikselsel olarak Lk değerinin tayininden sonra aşağıdaki denklemler ile L ve k değerleri hesaplanır [11].

$$k = \frac{\ln(Lk/r)}{t} \quad (22)$$

$$s = Lk \quad (23)$$

$$L = \frac{s}{k} \quad (24)$$

1.4.3.1.4.3. Eğim Metodu

Thomas (1937) tarafından verilen bu metot uzun yıllar kullanılmıştır. Eğim metodu, en küçük kareler metodunun birinci sıra BOİ diferansiyel denkleminin uygulanmasıyla bulunur. Bu metotta dy/dt değerinin öncelikle deneysel y ve t değerlerine dayanılarak hesaplanması gerekmektedir. Bunun geçerliliği ise tartışma götürür bir durum göstermektedir [12].

Birinci sıra BOİ denkleminin,

$$\frac{dy}{dt} = k(L - y) \quad (25)$$

lineer denklemin elde edilir. Bu denklemin kullanılabilmesi için yukarıda da bahsedildiği gibi (dy/dt) değerinin deneysel y ve t değerlerinden hesaplanması gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki formül verilebilir.

$$\frac{dy}{dt} = \frac{[(y_2 - y_1)(t_3 - t_2)/(t_2 - t_1)] + [(y_3 - y_2)(t_2 - t_1)/(t_3 - t_2)]}{(t_3 - t_1)} \quad (26)$$

eşit zaman aralıkları için $(t_3 - t_2) = (t_2 - t_1) = \Delta t$ olur. Yerine konursa (26) numaralı denklem,

$$\frac{dy}{dt} = (y_3 - y_1) / 2\Delta t \quad (27)$$

halini alır. Bu değer (25) numaralı denklemde yerine konarak bulunan lineer denklemin en küçük kareler metodu uygulanırsa n tane artık değerlerin karelerinin toplamı için,

$$na + b \sum y - \sum (dy/dt) = 0 \quad (28)$$

$$a \sum y + b \sum y^2 - \sum (y)(dy/dt) = 0 \quad (29)$$

1.4.3.1.4.4. Grafiksel Metot

Thomas (1950) tarafından geliştirilen bu metot, birinci sıra BOİ denklemlerinin bir fonksiyona yaklaştırılması yolu ile elde edilmiştir [13]. Birinci sıra BOİ denkleminin yakın bir denklem olarak,

$$y=Lkt\left(1+\frac{Lkt}{6}\right)^{-3} \quad (30)$$

denklemini verilebilir. Bu denklemi aşağıdaki lineer şekle sokmak mümkündür.

$$\left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}}=(Lk)^{-\frac{1}{3}}+\frac{k^{\frac{2}{3}}}{6L^{\frac{1}{3}}}t \quad (31)$$

veya,

$$\left(\frac{t}{y}\right)^{\frac{1}{3}}=a+bt \quad (32)$$

Bir koordinat sisteminde $(t/y)^{1/3}$ ordinat ve t apsis ekseninde noktalanır ve göz kararı ile yaklaşık bir ortalama doğru çizilir ise $t=0$ 'daki kesim noktası (a) ve doğrunun eğimi (b) olur. Aşağıdaki denklemlerden L ve k hesaplanır.

$$k=\frac{6b}{a}$$

$$L=\frac{1}{ka^3}$$

1.4.3.1.4.5. Momentler Metodu

Moore, Thomas ve Snow 1950 yılında momentler metodunu vermişlerdir. Bu metot güvenilir neticeler vermesi sebebiyle en çok kullanılan metot olmuştur [14].

Momentler metodu ile birinci sıra BOİ denkleminin çözümü aşağıda verilmiştir.

$$y_i = L(1 - e^{-kt_i}) \quad (33)$$

sıfır momenti için,

$$\sum_{i=0}^n y_i = \sum_{i=0}^n L(1 - e^{-kt_i}) \quad (34)$$

$$= (n+1)L - L \sum_{i=0}^n e^{-kt_i} \quad (35)$$

birinci moment için,

$$\sum_{i=0}^n y_i t_i = \sum_{i=0}^n L t_i (1 - e^{-kt_i}) \quad (36)$$

$$= L \sum_{i=0}^n t_i - L \sum_{i=0}^n (t_i e^{-kt_i}) \quad (37)$$

olarak bulunur. Burada (35) ve (37) numaralı denklemler birbirleri ile bölünerek L yok edilirse,

$$\frac{\sum_{i=0}^n y_i}{\sum_{i=0}^n y_i t_i} = \frac{n - \sum_{i=0}^n e^{-kt_i}}{\sum_{i=0}^n t_i - \sum_{i=0}^n (t_i e^{-kt_i})} \quad (38)$$

bulunur. Bu denklemden k değeri hesaplanabilir. L değerinin hesabı içinde, (35) numaralı denklemden yararlanılarak,

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n - \sum_{i=1}^n e^{-kt_i}} \quad (39)$$

denklemini kullanılabılır.

1.4.3.1.4.6. Karelerin Yüzeysel Toplamı Metodu

Marske ve Polkowski 1972 yılında BOİ parametrelerin hesabı için karelerin yüzeysel toplamı metodunu uygulamışlardır. Bu metodun güvenilirliği her ne kadar şüphe götürmez derecede ise de işlemler zaman alıcı olmaktadır [15].

Bu metotta L ve k değerleri, karelerin toplamını minimuma ulaştıran değerdir ki bunun denklemi de,

$$R = \sum \left[y - (1 - e^{-kt}) \right]^2 \quad (40)$$

olarak verilebilir. Burada (y) deneysel BOİ değerlerini ve $L(1 - e^{-kt})$ ise hesaplanmış BOİ değerlerini temsil etmektedir. Karelerin toplamı olarak R değeri, her tahmini olarak seçilen L ve k çifti için hesaplanır. Her R değeri (L,k) koordinat sisteminde bir nokta gösterir. Eşit olan R değerlerini gösteren noktaların birleştirilmesi ile çeşitli eş yükseklik eğrileri elde edilir. Toplam BOİ ve k için en güvenilir değerler en küçük eşyüksekti eğrisinin çevirdiği alan içerisinde olacaktır.

1.4.3.1.4.7. Seriler Metodu

Berkün 1974 yılında bazı yeni metotlar vermiş ve bunların içinde en güvenilir olanları araştırılmıştır. Berkün yeni metotların en güvenilir olanlarından bir tanesini seriler metodu olarak vermiştir. Bu metot mevcut metotlara nispetle hesapta kolaylık ve zamandan tasarruf sağlamaktadır [16]. Birinci sıra BOİ denklemi,

$$y_i = L(1 - e^{-kt_i}) \quad (41)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemde, $(y_i = y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$, $(t_i = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)$ değerleri yerlerine konarak aşağıdaki denklemler bulunabilir.

$$\frac{y_2}{y_{n-1}} = \frac{1-e^{-2k}}{1-e^{-k}} = 1+e^{-k} \quad (42)$$

$$\frac{y_3}{y_2} = \frac{1-e^{-3k}}{1-e^{-2k}} = \frac{1+e^{-k}+e^{-2k}}{1+e^{-k}} \quad (43)$$

$$\frac{y_n}{y_{n-1}} = \frac{1-e^{-nk}}{1-e^{-(n-1)k}} = \frac{1+e^{-k}+e^{-2k}+\dots+e^{-(n-1)k}}{1+e^{-k}+e^{-2k}+\dots+e^{-(n-2)k}} \quad (44)$$

Yukarıda bulunan denklemlerden yararlanılarak aşağıdaki denklemler verilebilir.

$$e^{-k} = \frac{y_2-y_1}{y_1} \rightarrow k = \text{Ln} \left[\frac{y_1}{(y_2-y_1)} \right] \quad (45)$$

$$e^{-2k} = \frac{y_3-y_2}{y_1} \rightarrow k = \frac{1}{2} \text{Ln} \left[\frac{y_1}{(y_3-y_2)} \right] \quad (46)$$

$$e^{-3k} = \frac{y_4-y_3}{y_1} \rightarrow k = \frac{1}{3} \text{Ln} \left[\frac{y_1}{(y_4-y_3)} \right] \quad (47)$$

$$e^{-(n-1)k} = \frac{y_n-y_{n-1}}{y_1} \rightarrow k = \frac{1}{n-1} \text{Ln} \left[\frac{y_1}{(y_n-y_{n-1})} \right] \quad (48)$$

k için bulunan (46-48) numaralı denklemler taraf tarafa toplanarak (k) değeri için,

$$k = \frac{1}{n-2} \left[\frac{1}{2} \text{Ln} \left[\frac{y_1}{(y_3-y_2)} \right] + \dots + \frac{1}{n-1} \text{Ln} \left[\frac{y_1}{(y_n-y_{n-1})} \right] \right] \quad (49)$$

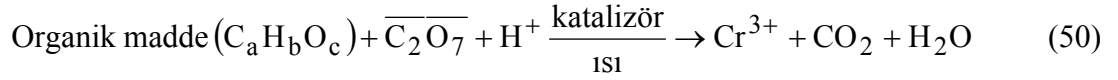
denklemini bulunur toplam BOİ değeri için (39) numaralı denklem kullanılabilir.

Bu metot k değerinin y_i değerleri yardımıyla direkt hesabını sağlamaktadır. Bilgisayar kullanılmadan yapılacak hesaplarda diğer metotlara kıyasla daha çabuk çözüm vereceği gibi, bilgisayar kullanılması halinde de zamandan önemli miktarda tasarruf sağlamaktadır. Aynı grup BOİ değerlerine dayanılarak yapılan bir araştırmada seriler

metodu ile 10 saniyelik bilgisayar zamanı gerektiği halde momentler metodu ile 1 dakika 23 saniyelik bilgisayar zamanı gerekmiştir.

1.4.3.1.5. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Kimyasal olarak oksitlenebilen organik maddelerin oksijen ihtiyacı, asidik ortamda kuvvetli bir kimyasal oksitleyici vasıtasıyla ölçülür. Bu maksatla potasyum dikromat ($K_2O_2O_7$) fevkalade üstünlüklere sahip bir maddedir. Potasyum dikromataki (+6) değerli Cr, (+3) değerli krom haline indirgenirken, organik maddedeki karbon, CO_2 haline oksitlenir:



Bu deney, biyolojik hayat için zehirli maddeler içeren ev ve endüstri kaynaklı atık suların organik madde konsantrasyonlarının ölçülmesi için bilhassa elverişlidir. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğundan, kimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik oksijen ihtiyacından genel olarak daha büyüktür. Bir çok atık su numunelerinde BOİ ile KOİ arasında korelasyon kurmak mümkündür. Genel olarak bu değer BOİ₅/KOİ oranı 0,4 ile 0,8 arasında değişir. Bu korelasyon birçok hallerde çok faydalı olabilir. Çünkü BOİ, 5 günde ancak ölçülebildiği halde, KOİ'nin 3 saatte bulunması mümkündür.

1.4.3.1.6. Toplam Organik Karbon

TOK testi özellikle küçük konsantrasyondaki organik maddelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. BOİ₅/TOK oranı ise 1 ila 1,6 arasındadır.

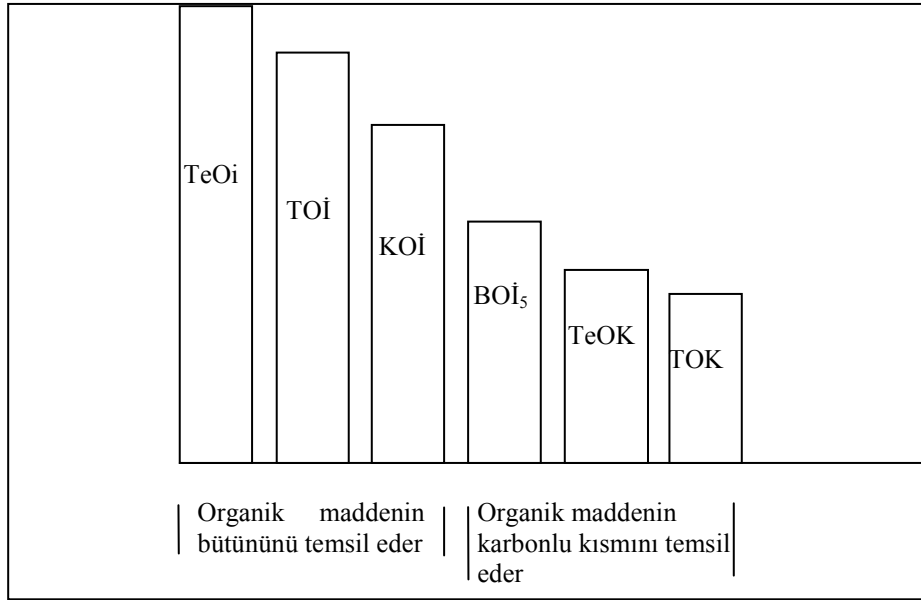
1.4.3.1.7. Teorik Oksijen İhtiyacı (TeOİ)

Atık sularda bulunan karbonhidratlar, yağlar, proteinler ve bunların ayrışma ürünleri genel olarak karbon, hidrojen, oksijen ve azottan meydana gelir. Numunenin kimyasal formülü biliniyorsa, içindeki karbonun oksitlenmesi için gerekli oksijen miktarı

bulunabilir. Bu değer KOİ ve BOİ'den daha büyüktür. Çünkü KOİ'de bile, kimyasal olarak oksitlenmeyen bir miktar karbonlu madde daima bulunur.

1.4.3.1.8. Toplam Oksijen İhtiyacı (TOİ)

TOİ parametresi ise diğer parametrelerin bulunmasından daha sonraki yıllarda geliştirilmiştir. TOİ deneyi, numuneyi platinle katalizlenen bir yanma odasında kararlı son ürünlere çevirmeyi ve bu esnada sarf edilen oksijen miktarını bulmayı hedef alır.Şekil 4'te atık suda bulunan organik maddelerin miktarının belirlenmesinde kullanılan laboratuvar metotlarının miktar bakımından grafiksel gösterimi verilmektedir.



Şekil 4. Atık suda bulunan organik maddelerin miktarının belirlenmesinde kullanılan laboratuvar metotlarının miktar bakımından grafiksel gösterimi

1.4.3.2. İnorganik Bileşenler

1.4.3.2.1. Azot

Azot ve fosfor elementleri protista ve bitkilerin büyümeleri için çok gereklidir. Bunlara besi elementleri denir. Azot proteinlerin sentezi için temel yapı taşı olduğundan,

atık suların biyolojik yollarla tasfiyesinde azot konsantrasyonlarını bilmeye ihtiyaç vardır. Suyun azot miktarı az ise dışarıdan azot ilavesi gerekir.

Yeni oluşmuş atık sularda azot, esas itibariyle proteinli maddelere ve üreye bağlı olarak bulunur. Bunların ayrışmasıyla azot hemen amonyağa dönüşür. Atık suyun tazelik derecesi amonyak miktarı ile ölçülür. Aerobik ortamda bakteri faaliyeti sonucu amonyak oksitlenerek nitrit ve nitrat haline gelir.

Atık sularda nitrit azotu nispeten önemsizdir. Çünkü nitritler kararsız olup kolaylıkla nitratlara dönüşürler. Nitratlar eskiden suyun kirlilik ölçüsü olarak kullanılmışlardır. Konsantrasyonu atık sularda 1 mg/lit' yi geçmez.

Nitratlar azotun en ileri derecede oksitlenmiş hali olup tasfiye edilmiş sular, suni yer altı suyu elde edilmesi amacıyla kullanılıyorsa, nitrat konsantrasyonu önem kazanır. Bebekler üzerinde ciddi ve öldürücü etkisi sebebiyle Amerika'da içme suyunda, NO_3^- konsantrasyonu 45 mg/lit ile sınırlandırılmıştır. Atık sularda nitratlar 0 ile 20 mg/litN azot konsantrasyonlarında bulunabilir. Atık sular normal olarak 15 ile 20 mg/lit nitrat azotu içerir.

1.4.3.2.2. Fosfor

Alg ve diğer organizmaların çoğalması bakımından fosfor da önemlidir. Atıksudaki mikroorganizmalar için bir besin maddesidir. Alıcı ortama deşarj edilen arıtılmış atık suda fosfor varsa, alıcı ortamda ötrifikasyona sebep olabilir. Evsel atık sularda 4 ile 15 mg/lit arasında fosfor (P) bulunur.

1.4.3.2.3. pH

Atık sudaki hidrojen iyonu konsantrasyonunun parametresidir. Atık suyun pH değeri biyolojik ve kimyasal arıtma işlemlerinin belirlenmesinde önemlidir. İçme suyunun pH değeri 6-8 arasında, deniz suyunun 8, doğal suların 7 ve evsel atık suyun ise 7-8 arasındadır.

1.4.3.2.4. Klorür

Evsel atık sularda, klorürlerin belli başlı kaynağı insan idrarıdır. Su sertliğinin yüksek olduğu yörelerde, su yumuşatıcılarının kullanılması ile büyük miktarda klorür atık suya karışmaktadır. Alıcı ortamda yüksek miktarda klorür konsantrasyonlarının bulunması, alıcı ortamın atık su deşarjına maruz kaldığının bir göstergesidir.

1.4.3.2.5. Alkalinite

Atık suda alkalinite; kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum gibi elementlerin hidroksit, karbonat ve bikarbonatlarının varlığından veya amonyaktan oluşmaktadır. Atık su genelde alkalidir.

1.4.3.2.6. Kükürt

Sülfat iyonu doğal olarak atık suda mevcuttur. Sülfatlar, kimyasal olarak, anaerobik (oksijensiz) koşullarda, bakteriler tarafından sülfürlere ve hidrojen sülfüre (H_2S) indirgenir. Daha sonra H_2S biyolojik olarak sülfürik aside oksitlenir.

1.4.3.2.7. Ağır Metaller ve Zehirli Bileşikler

Nikel, kurşun, krom, kadmiyum, çinko, bakır ve cıva gibi ağır metaller ve oluşturdukları bileşikler mikroorganizmalar için zehirlidir. Bu nedenle atık suyun biyolojik arıtımı safhasında sorunlar yaratırlar.

1.4.3.2.8. Gazlar

Atık sularda bulunan bazı gazlar; azot, oksijen, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve metandır. Çözünmüş oksijen, aerobik mikroorganizmaların ve diğer aerobik canlıların solunumu için gereklidir. Atık sulardaki oksijen miktarı, mikroorganizmaların oksijen tüketimi sebebi ile çok düşüktür. Atık suda bulunan organik maddelerin anaerobik parçalanmasının yan ürünlerinden biri metan gazıdır. Bu gaz çabuk alev alan ve patlama tehlikesi olan bir gazdır. H_2S gazının ise toksik etkisi çok fazladır.

1.4.4. Biyolojik Özellikler

Biyolojik kirliliği, organik atıkların etkisiyle su kaynaklarında üreyen algler, küfler ve bakteriler oluştururlar. Bu canlılar zamanla ortamdaki oksijeni tüketirler. Oksidasyon işlemine bağlı olarak, ekzotermik reaksiyonlar suyun sıcaklığını yükselterek diğer canlıların yaşaması için gereken oksijen miktarını düşürmeye devam eder.

1.4.4.1. Patojen ve Saprofit Organizmalar

Yüzeysel sularda ve atık sularda bulunan organizmalar, bakteriler, mantarlar, protozoalar ve algler ile bazı bitkiler ve omurgalı ve omurgasız küçük hayvanlardan meydana gelir. Bunlardan bir kısmı hastalık yapan (patojen) organizmalardır. Diğerleri ise saprofitlerdir. Patojenlerin tayin ve teşhisi zor olduğundan, bunların varlığı, indikatör organizma adı verilen bir takım başka saprofit mikroorganizmaların tayini yoluyla anlaşılır. İndikatör organizmaların en tanınmış olanı Koliform Organizmalar grubudur. Bunlar çubuk şekilli bakterilerdir. Koliform bakterilerin iki türü vardır. Bunlar, *Archaeobacteria* ve *Eubacteria* olarak isimlendirilirler. Koliform organizmaların indikatör olarak kullanılmasında bazı karışıklıklar kendini göstermektedir. Çünkü *Eubacteria* toprakta da yaşayabilmektedir. Böylece, koliformların varlığı, daima suyun insan dışkısı ile kirlendiğini göstermez. Fakat *Archaeobacteria koli* (E. Koli) bakterisinin tamamen dışkı kökenli olduğu aşıkardır. Fakat E. Koli tayini güçtür. Bu sebeple toplam koliform grubu dışkı ile kirlenmenin indikatörü olarak kullanılır [7, 17, 18, 19].

1.5. Evsel Atık Sular

Evsel atık sular askıda, koloidal ve çözülmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. İklimsel şartları, insanların yaşam standartları ve kültürel alışkanlıklar atık su özelliğini önemli ölçüde etkiler. Şehir kanalizasyon şebekesine endüstriyel atık suların kabulü, mevcut evsel atık su özelliklerini büyük oranda değiştirir. Konsantrasyonlar kişi başına günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak da değişir. Her ne kadar suya deşarj edilen atık miktarı toplumların özelliklerine göre farklılıklar gösterse de, bu fark çok yüksek değildir. Dolayısıyla atık su özellikleri sadece şehirden şehre değil, ele alınan her bir yerleşim birimi için mevsimsel hatta saatlik değişkenlik gösterir. Evsel atık suların rengi genellikle açık kahverengimsi gridir, kendine has bir kokusu vardır. Ancak

kanalizasyonda akma süresinin artması ve anaerobik şartların gelişmesiyle atık suyun rengi griden koyu griye ve daha sonra siyaha doğru değişebilir. Atık suyun rengi anaerobik şartlarda siyaha doğru döner. Bu renk anaerobik şartlarda oluşan sülfür formlarının atık sudaki metallere reaksiyona girmesiyle oluşan metalik sülfürlerden kaynaklanır. Septik atık suların kokusu ise kötüdür. Hidrojen sülfürden kaynaklanan çürük yumurta kokusu ve merkaptanlar septik atık suların ayırt edici özelliğidir. Evsel atık suların sıcaklığı coğrafi bölgeye ve mevsime bağlı olarak 10-21°C arasında değişir, önemli miktarda endüstriyel atık su içermiyorsa yoğunluğu aynı sıcaklıktaki suyun yoğunluğuna yakındır [7].

Tablo 2’de ham, yani hiç arıtılmamış ve bir işleme tabi tutulmamış tipik evsel atık su özellikleri verilmektedir. Tablodan da görüleceği gibi, atıklar çok büyük oranda karbon, azot, fosfor gibi organik besinlerden ve yüksek konsantrasyonda mikroorganizmalardan oluşmaktadır. Bunlar hemen bozunmaya yatkın olup, kanallardan akarken bile biyolojik bozunmaları devam eder. Böylece zaman içinde atık suyun bazı özellikleri de değişmektedir. Tablodaki bütün değerler, projelendirmede kolay kullanılmaları ve farklı toplumlar için kolay kıyaslanmaları bakımından g/kişi-gün biriminde verilmiştir. Toplumlar arasında, özellikle de gelişmekte olan ve gelişmiş toplumlar arasında su tüketimi çok farklı olabildiğinden, mg/l olarak verilen değerler bazen yanlış algılanma durumlarına yol açabilir.

Atık sudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak atık suyu, zayıf, orta ve kuvvetli olarak sınıflandırmak mümkündür (Tablo 3). Kirleticiler ve konsantrasyonları, günün saatine, haftanın gününe, yılın ayına ve diğer yerel şartlara bağlı olarak değişim gösterdiğinden tablodaki veriler yalnızca yol gösterici değerler olup tasarımda o yere ait gerçek veriler esas alınmalıdır. Kanalizasyon sisteminin etkili çalışması durumunda, BOİ değeri genellikle ortalama 54 g/kişi-gün civarındadır. Gelişmekte olan bazı bölgelerde üretilen atık suyun tamamı kanalizasyon sistemine dâhil edilmediğinden, BOİ değeri 30-40 g/kişi-gün seviyesinde olabilir. Eğer kanalizasyonda birleşik sistem kullanılıyor ise, BOİ değeri %40 daha yüksek, yani 77 g/kişi-gün mertebesinde olur. Ofislerde, okullarda ve diğer yarı zamanlı kullanılan mekânlarda BOİ değeri 54 g/kişi-gün olan normal değerinin yarısı, hatta daha da azı olabilir. Restoranlarda ve kafeteryalarda ise yapılan her yemek servisinin BOİ’ye etkisi 54 g/kişi-gün değerinin dörtte biri olarak kabul edilir.

Tablo 2. Evsel atık su özellikleri [20]

Madde	Atıklarda bulunan değeri (g/kişi-gün)
BOİ ₅	45-54
KOİ	1,6-1,9 BOİ ₅
Toplam organik karbon	0,6-1,0 BOİ ₅
Toplam katı maddeler	170-220
Askıda katı maddeler	70-145
Kum (inorganik, 0,2mm ve yukarısı)	5-15
Madeni yağ	10-30
Alkalinite (kalsiyum karbonat olarak, CaCO ₃)	20-30
Klorür	4-8
Toplam azot	6-12
Organik azot	≈ 0,4 x toplam N
Serbest amonyak	≈ 0,6 x toplam N
Nitrit azotu	–
Nitrat azotu	≈ 0,0-0,5 x toplam N
Toplam fosfor	0,6-4,5
Organik fosfor	≈ 0,3 x toplam P
İnorganik (ortho-polifosfatlar)	≈ 0,7 x toplam P
Potasyum (K ₂ O olarak)	2,0-6,0
Askıda bulunan mikroorganizmalar (100 ml atık su içinde)	
Toplam bakteri	10 ⁹ -10 ¹⁰
Koliform	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

Tablo 3'te ise ham evsel atık suyun tipik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 3. Ham evsel atık suyun tipik özellikleri [7]

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam katı (TK)	mg/l	350	720	1200
Toplam çözülmüş Katı (TÇK)	mg/l	250	500	850
Sabit	mg/l	145	300	525
Uçucu	mg/l	105	200	325
Askıda Katı (AK)	mg/l	100	220	350
Sabit	mg/l	20	55	75
Uçucu	mg/l	80	165	275
Çökebilgen Katılar	mL/l	5	10	20
BOİ ₅ (20°C)	mg/l	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/l	80	160	290
KOİ	mg/l	250	500	1000
Azot (Toplam N olarak)	mg/l	20	40	85
Organik azot	mg/l	8	15	35
Serbest amonyum azotu	mg/l	12	25	50
Nitrit azotu	mg/l	0	0	0
Nitrat azotu	mg/l	0	0	0
Fosfor (Toplam Fosfor olarak)	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
Alkalinite (CaCO ₃ olarak)	mg/l	50	100	200
Yağ-Gres	mg/l	50	100	150
Uçucu Organik Bileşikler (UOB)	µg/l	<100	100-400	>400
Toplam Koliform	No./100 ml	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁷ -10 ¹⁰
Fecal Koliform	No./100 ml	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸

1.6. Endüstriyel Atık Sular

Endüstriyel atık suların özellikleri, endüstriden endüstriye oldukça farklılıklar göstermektedir. Aynı daldaki endüstrilerde bile, kullanılan hammaddeler ve uygulanan proseslerin farklılığı, diğer birçok faktörle birlikte çıkan atık suyun yapısında farklılıklar oluşturmaktadır. Tablo 4’de bir takım tipik değerler verilmiş olsa da, bu konuda genelleme yapmak zordur.

Endüstriyel atık sularla ilgili olarak burada belirtilmesi gereken en önemli özellik, hem debide hem de içeriğinde geniş çapta dalgalanmaların olduğudur. Bu sebeple, bu

durumları tarif etmek ve belli değerlere ulaşmak için en iyi yol deneysel verilerin istatistiksel analizi yoluyla elde edilen verilerden faydalanmaktır.

Örneğin, atık su içindeki herhangi bir bileşenin konsantrasyonu (fenol, BOİ vs.) veya atık suyun debisi, ilgili deneysel verilerin eklenik frekans (ihtimal) dağılım analizi yoluyla, ortalama, medyan, %90 ~ 95'lik değerler itibarıyla kolayca belirlenebilir.

1.6.1. Kirleticilerin Yapıları ve Tipik Değerleri

Yiyecek endüstrisi, indirgendikleri zaman nehirlerdeki çözülmüş oksijen miktarını düşüren organikleri daha çok içerir ve bu da balıkları ve sudaki hayatı olumsuz etkiler. Koku ve anaerobik ortam oluşabilir. Bazı besin endüstrileri sadece mevsimsel olarak çalışır ve genellikle katı atıklar üretirler.

İçecek endüstrisi atıkları, yiyecek endüstrisi ve evsel atıklara benzemekle birlikte çok yüksek BOİ değerleri içerebilir. Yemek ve içecek endüstrisi atıkları bitkileri sulama suyu amacıyla kontrollü olarak kullanılabilir. Atık suda katı madde miktarı ve renk problem olabilir. Biyolojik arıtma sırasında besi maddesi ilavesi gerekebilir.

Tekstil endüstrisindeki ana problemler boya bölümünden renk, işleme esnasında NaOH'dan kaynaklanan yüksek pH ve ani oynamalar görülmektedir. Makine yağları, yüksek BOİ, sülfidler ve Zn sektör çeşidine göre diğer kirletici parametrelerdir.

Kimya endüstrisi atık sularında ise yağ emisyonları, sülfid ve fenoller, makine yağları, katılar, yüksek pH, fosfatlar ve indirgenemeyen organikler içerebilirler. Tipik etkileri ise tat ve koku problemleri, zehirlenme olabilmektedir. Ayrıca termal kirlenmeye yol açabilir. Metal üretiminden kaynaklanan atık suda Cr, Cd, CN⁻, Zn metal kirlilikleri görülebilir. Bazı metaller besi zincirinde kalırlar.

Tabakhanelerden kaynaklanan atık suların tipik yapıları kıl, katı madde, çamur, BOİ, azot, Cr, sülfid kirliliği, yüksek pH ve kokudur. Tablo 4 ve Tablo 5'te endüstrilerde su ihtiyacı ve atık su karakteristikleri ile değişik atık sularındaki KOİ, BOİ₅ ve BOİ₅/KOİ oranları verilmektedirler.

Tablo 4. Endüstrilerde su ihtiyacı ve atık su karakteristikleri [12]

Endüstri	Su ihtiyacı	Atık su karakteristikleri		
		Miktar	BOİ	Diğer
YİYECEK				
Şeker pancarı	27 m ³ /ton (Yenidenkullanım yok) 3 m ³ /ton (Yeniden kullanım var)	Kullanılan suyun %89,5'i	1 kg / 1 ton pancar	
Şeker Kamışı	-	500 l/ton	0,6 kg/ton	
Mezbahalar	5m ³ /1000kg canlı hayvan			
Et kesimi ve konserveleme	30m ³ /1000kg canlı hayvan	Kullanılan suyun %96,8'i	15-20kg/1000kg konservelenen et	3-9 kgN/1000kg canlı hayvan
Meyve/sebze konserveleme	8-80 m ³ /ton	Kullanılan suyun %67'si		
İÇECEK				
Bira		10-15 l/l bira	8 g/l bira	0,1-0,5 g N /l bira
Süt		2-10 l/l süt	0,1-0,2 kg/100 kg süt	
Viski		20 l/l viski		
Meşrubatlar		2-5 l/l meşr.	600-2000 mg/l	
KÂĞIT				
Kâğıt hamuru (üretim)		40-200 m ³ /ton		
Kâğıt hamuru (beyazlatma)		80-200 m ³ /ton		
Kâğıt üretimi		40-120 m ³ /ton		
Entegre üretim		190-230 m ³ /ton	60-165 kg/ton	
TEKSTİL				
Pamuk	120-750 l/kg ürün	Kullanılan suyun %93'ü	150 kg/1000 kg ürün	7-15kg N / ton ürün
Yün		500-600 l/kg ürün	300 kg/ton ürün	
Suni ipek		25-58 l/kg ürün	30 kg/1000kg ürün	
Naylon		100-150 l/kg ürün		
Polyester		67-133 l/kg ürün	200 kg/ton ürün	
KİMYA				
Rafineriler	200-400 litre (varilbaşına)		45 g/varil	4 g/varil
Sabun üretimi		200 m ³ /ton		
Deterjanlar		13 m ³ /ton		
Gübre		karbon bulamacı: 2500 l/ton NH ₃ NH ₃ tesisi: 2000-7000 l/ton Üre tesisi: 3000-5000 l/ton NH ₃		10-25 kg NH ₃ (ton üretilen NH ₃) 6-22,5 kg üre/ton NH ₃
Metal kaplama		1-25 l/l kaplama solüsyonu		1-15 mg CN/l 3-100 mg Cr/l 0-25 mg Ni/l
DIĞERLERİ				
Tabakhaneler	-	2-8 m ³ /kg deri	9 kg/100 kg deri	Askıdaki katılar: 22-30 kg/100 kg Toplam katı: 35-40 kg/100 kg

Tablo 5. Değişik atık sulardaki KOİ, BOİ₅ ve BOİ₅/KOİ oranları [20]

Atık su cinsi	KOİ(mg/l)	BOİ ₅ (mg/l)	BOİ ₅ /KOİ
Mezbahana	3500	2000	0,57
İçki endüstrisi	60 000	30 000	0,5
Süt endüstrisi	1800	900	0,5
Lastik endüstrisi	5000	3300	0,66
Deri endüstrisi	13 000	1270	0,1
Tekstil endüstrisi			
Arıtılmamış biyolojik	1360	660	0,48
Arıtılmış	116	5	0,04
Un endüstrisi			
Arıtılmamış biyolojik	620	226	0,36
Arıtılmış	250	30	0,12

Çeşitli insan faaliyetleri sonucunda değişik karakterlerde atık su oluşmaktadır. Eysel nitelikli atık sular dışında üretim faaliyetlerinden dolayı da değişik karakterli atık sular oluşmaktadır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre yapılan atık su sınıflandırması şematik ve ana başlıkları halinde Tablo 6'da özetlenmiştir [7,20].

Tablo 6. Su kirliliği yönetmeliği'ne (SKKY) göre atık su sınıflandırması [21]

Eysel nitelikli atık sular	Endüstriyel nitelikli atık sular	Endüstriyel nitelikli diğer atık sular
Nüfus < 1000 kişi Nüfus = 1000-10 000 Nüfus > 10 000	-Gıda Sanayi Atık Suyu -İçki Sanayi Atık Suyu -Maden Sanayi Atık Suyu -Cam Sanayi Atık Suyu -Kömür Hazırlama, İşleme ve Enerji Üretim Tesisleri Atık Suları -Tekstil Sanayi Atık Suyu -Petrol Sanayi Atık Suyu -Deri Sanayi Atık Suyu -Selüloz, Kâğıt, Karton vb. Sanayi Atık Suyu -Kimya Sanayi Atık Suyu Metal Sanayi Atık Suyu -Ağaç Mamulleri ve Mobilya Sanayi Atık Suyu -Makine ve Yedek Parça Sanayi Atık Suyu -Taşıt Fabrikaları ve Tamirhaneler Atık Suları	-Endüstriyel soğutma suları -Sulu baca filtrelerinin çıkış suları -Benzin istasyonları atık suları -Tutkal ve zambak üretimi atık suları -İçme suyu filtreleri geri yıkama suları -katı atık bertaraf tesisleri atık suları -Rejenerasyon tesisleri atık suları

1.7. Atık Su Kalite Kriterleri ve Standartları

Suyun kullanılacağı yere ve amaca göre kalite kriterlerinin belirlenmesi gerekir. Kalite kriteri kavramının standart kavramı ile karıştırılmaması gerekir. Kriterler herhangi bir amaç için kullanılacak suyun, o amaca uygun olup olmadığının, standartlar ise kullanıldıktan sonra çevreye bırakılacak suyun özelliklerinin detaylı olarak tarifidir [19].

Büyük nüfuslu yerleşim alanlarının ve endüstrinin yoğun olduğu bölgelerdeki fabrika sularının, arıtım tesislerinden geçirildikten sonra çevreye bırakılması gereklidir. Ayrıca atık suyun karışacağı dere, nehir, göl veya denizdeki seyreltilme derecesi ve atık suyun karıştığı su kaynağının ne amaçla kullanılacağı da standartlar getirilmesi gereken faktörlerdendir.

Kalite kriterini saptamak için gerekli olan parametre sayısı ve bu parametrelerin alt ve üst limitleri suyun kullanılacağı amaca göre belirlenir [22].

Türkiye'de Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, su kalite kontrolüne yönelik, yasal ve teknik esasları kapsamaktadır. Yönetmelikte, kıta içi su kaynaklarının kullanımına göre sınıflandırılması ve her sınıf için gerekli su kalitesi parametreleri incelenmiştir. Bu yönetmelikten yararlanarak, başlıca dört ana su sınıfının kullanım ve kalite kriterleri belirlenerek Tablo 7'de sunulmuştur [23].

Tablo 7'de I. kalite sınıfı, içme ve kullanma suları, II. kalite sınıfı yüzme, balıkçılık, rekreasyon sularını, III. kalite sınıfı endüstride, tarımda, balıkçılıkta kullanılan suları ve IV. kalite sınıfı ise soğutma suyu olarak kullanılan suları kapsamaktadır [19].

Yönetmelikte, ayrıca kanalizasyona boşaltım koşulları da esasa bağlanmıştır. Yönetmeliğe göre kanalizasyona belli derişimlerde verilebilecek kirleticilere de ön arıtma zorunluluğu getirilmektedir. Kentsel kanalizasyon sistemlerine bağlantı için öngörülen standartlar ise Tablo 8'de verilmiştir [19, 24].

Tablo 7. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre genel kalite kriterleri [19]

Su kalite parametreleri	Su kalite sınıfları			
	I	II	III	IV
A. Genel fiziksel ve inorganik-kimyasal parametreler				
1. Sıcaklık (°C)	25	25	30	>30
2. pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0 dışında
3. Çözünmüş oksijen (mg O ₂ /l)	8	6	3	>3
4. Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	>40
5. Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /l)	200	200	400	>400
6. Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁻² /l)	200	200	400	>400
7. Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/l)	0,2	1	2	>2
8. Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/l)	0,002	0,01	0,05	>0,05
9. Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/l)	5	10	20	>50
10. Toplam fosfor (mg PO ₄ ⁻³ -P/l)	0,02	0,16	0,65	>0,65
11. Toplam çözünmüş madde (mg/l)	500	1500	5000	>5000
12. Renk (Pt-Co standardı)	5	50	300	>300
13. Sodyum (mg/l)	125	125	250	>250
B. Organik parametreler				
1. KOİ (mg/l)	25	50	70	>70
2. BOİ ₅ (mg/l)	4	8	20	>20
3. Organik karbon (mg/l)	5	8	12	>12
4. Emülsifiye yağ ve gres (mg/l)	0,02	0,3	0,5	>0,5
5. Alkil benzen sülfonat (mg/l)	0,05	0,2	1	>1,5
C. İnorganik endüstriyel kirlenme parametreleri				
1. Civa (µg/l)	0,1	0,5	2	>2
2. Kadmiyum (µg/l)	3	5	10	>10
3. Kurşun (µg/l)	10	20	50	>50
4. Arsenik (µg/l)	20	50	100	>100
5. Bakır (µg/l)	20	50	200	>200
6. Krom (toplam) (µg/l)	20	50	200	>200
7. Krom (+VI) (µg/l)	0	20	50	>50
8. Kobalt (µg/l)	10	20	200	>200
9. Nikel (µg/l)	20	50	200	>200
10. Çinko (µg/l)	200	500	2000	>2000
11. Siyanür (toplam) (µg/l)	10	50	100	>100
12. Florür (µg/l)	1000	1500	2000	>2000
13. Serbest klor (µg/l)	10	10	50	>50
14. Sülfür (µg/l)	2	2	10	>10
15. Demir (µg/l)	300	1000	5000	>5000
16. Mangan (µg/l)	100	500	3000	>3000
D. Organik endüstriyel kirlenme parametreleri				
1. Fenolik maddeler (uçucu) (mg/l)	0,002	0,01	0,1	>0,1
2. Mineral yağlar ve türevleri (mg/l)	0,02	0,1	0,5	>0,5
3. Toplam pestisid (mg/l)	0,001	0,01	0,1	>0,1
E. Biyolojik parametreler				
1. Fekal koliform / 100 ml	10	2000	20000	>20000

Tablo 8. Atık suların atık su alt yapı tesislerine bırakılmasında öngörülen standartlar

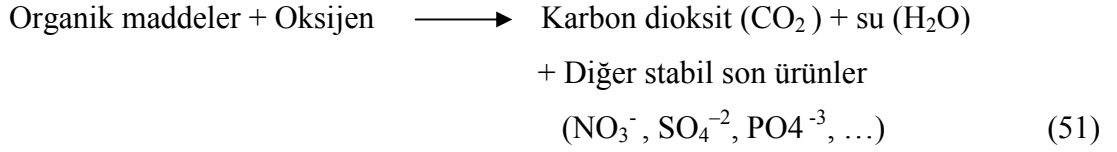
Parametre	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atık su alt yapı tesislerinde maksimum	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atık su alt yapı tesislerinde maksimum
Sıcaklık (°C)	40	40
pH	6,5-10,0	6,0-10,0
Askıda katı madde (mg/l)	500	350
Yağ ve gres	250	50
Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/l)	50	10
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)(mg/l)	4000	500
SO ₄ ⁻²	1000	1000
Toplam sülfür (S) (mg/l)	2	2
Fenol (mg/l)	20	10
Serbest klor (mg/l)	5	5
As (mg/l)	3	10
Toplam CN ⁻ (mg/l)	10	10
Toplam Pb (mg/l)	3	3
Toplam Cd (mg/l)	2	2
Toplam Cr (mg/l)	5	5
Toplam Hg (mg/l)	0,2	0,2
Toplam Cu (mg/l)	2	2
Toplam Ni (mg/l)	5	5
Toplam Zn (mg/l)	10	10
Toplam Sn (mg/l)	5	5
Cr (mg/l)	10000	-
Yüzey aktif maddeler	Biyolojik olarak parçalanması TSE standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır	

1.8. Kullanılmış Suların Alıcı Ortamlara Etkileri

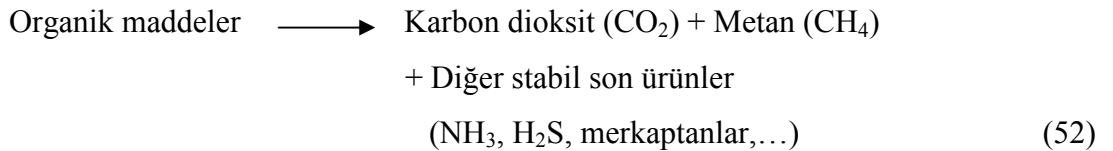
Sulara özellikle insan ve hayvan dışkılarıyla karışan patojen mikroorganizma ve virüsler önemli bir sağlık riski oluşturur. Patojenlerle kirlenmiş suların içme suyu temini ve rekreasyon amacıyla kullanımı kısıtlanır. Bu nedenle, insan ve hayvan dışkıları içeren ve önemli bir sağlık riski oluşturan atık suların akarsu, göl ve seyrelme potansiyeli düşük olan koy ve körfezler gibi alıcı ortamlara verilmesinden önce uygun bir dezenfeksiyon işlemi yapılması gerekir.

Atık suların içerdiği organik unsurlar alıcı ortamlarda bakteriler aracılığı ile ayrıştırılırlar. Bu ayrışma başlangıçta aerobik (oksijenli) şartlarda oluşur ve sudaki

çözünmüş oksijen bakterilerin metabolik faaliyetleri için tüketilir. Tüketilen oksijen, atmosferle su arasında ki ara kesitte gerçekleşen gaz transferleriyle yeniden kazanılır ve doğal arıtma olarak adlandırılan bu döngü kararlı halde sürer gider. Doğal arıtmayı gerçekleştiren canlı türleri, bunlar arasındaki etkileşimler ve organik maddenin parçalanması sırasında oluşan biyokimyasal reaksiyonlar çok karmaşık yapılara sahiptir. Doğal aerobik parçalanma sırasında gerçekleşen olaylar, bunların sonuçları hakkında hiç olmazsa bir fikir vermek amacıyla, aşağıdaki çok basitleştirilmiş bağıntı yararlı olabilir.



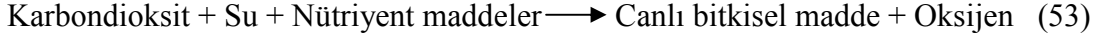
Görüldüğü gibi, aerobik ayrışma devam edebildiği sürece, çevresel açıdan organik maddeler bir sorun teşkil etmemektedir. Çünkü reaksiyon son ürünleri su kirliliğine sebep olmamaktadır. Yukarıda anlatılan dengelere sahip bir alıcı ortama verilen organik madde yükünün hızla artması durumunda ise, bu yük yukarıda verilen reaksiyon denklemi uyarınca aşırı miktarda oksijen tüketimine neden olacağından, sudaki çözünmüş oksijen derişimi canlı yaşamı için gerekli sınır değerin altına düşebilir. Balık yaşamı için sınır oksijen derişimi 4 mg/l'dir. Sulardaki oksijen tüketim hızı, oksijen kazanma hızından çok daha yüksek ise, çözünmüş oksijen derişimi 0 mg/l'ye kadar düşer. Bu durumda tüm aerobik yaşam durur. Bunların yerini oksijensiz ortamda yaşayabilen anaerobik mikroorganizmalar alır. Anaerobik mikroorganizmalar da sularda bulunan organik maddeyi tüketirler. Ancak anaerobik bakteriyel metabolizma, aerobik metabolizmaya kıyasla çok farklı özellikler gösterir. Bu reaksiyonları da basitleştirilmiş şekilde yazmak mümkündür.



Aerobik biyokimyasal reaksiyonlar sonucunda, amonyak, metan ve hidrojen sülfür gibi yarı stabil son ürünler ortaya çıkar. Özellikle hidrojen sülfür (çürük yumurtaya benzer pis kokusu ile) anaerobik ayrışmanın en belirgin göstergesidir. Bu tür su ortamlarında balık

ve diğer yüksek su canlılarının yaşamı mümkün olmadığı gibi, oksijensiz sular içme ve kullanma suyu temini, rekreasyon gibi kullanımlara da uygun değildir.

Kullanılmış suların alıcı ortamlara verilmesi sonucunda ortaya çıkan en önemli sorunlardan biride ötrofikasyondur. Sulara bakterilerin dengeli bir biçimde yaşayıp gelişmeleri için gerekli olandan çok miktarda besin maddesi (azot ve fosfor) gelirse, aşırı besin maddesi sudaki biyolojik yaşam için gübreleme etkisi yapar. Bu durumda suda fotosentezle organik madde üretimi ve özellikle alg (mikroskopik su bitkileri) üremesi hızlanır. İşte bu aşırı beslenme ve üretim artışı duruma ötrofikasyon adı verilir. Fotosentezle alıcı su ortamlarında organik madde üretimi aşağıdaki basitleştirilmiş denklemle ifade edilebilir:



Bu reaksiyon sadece güneş ışığı altında (gündüz saatlerinde) gerçekleşir. Suyu dışarıdan organik madde verilmemiş bile olsa, kendiliğinden alıcı ortamda madde, yukarıda anlatıldığı gibi, önce aerobik sonrada oksijenin azalması sonucunda anaerobik döngüleri başlatır. Fotosentez reaksiyonunda açığa çıkan oksijen anaerobik duruma geçişi sadece yavaşlatabilir fakat önleyemez. Çünkü gece saatlerinde fotosentez ve oksijen üretimi durduğundan, bu saatlerde suda bulunan oksijen miktarı hızla azalacaktır. Sularda ötrofikasyona sebep olan azot ve fosforun ana kaynağı evsel atık sular ve tarımsal arazilerden gelen drenaj sularıdır. Sentetik deterjanların giderek daha yaygın bir biçimde kullanımı, bunların içerdiği fosfor nedeniyle alıcı su ortamlarındaki ötrofikasyonu hızlandırmaktadır.

Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan atık suların içinde bazen eser miktarlarda bazen de yüksek derişimlerde ağır metaller bulunur. Ağır metaller boşaltım ortamlarındaki canlı yaşam üzerinde, derişimler ile orantılı olarak toksik etki yaparlar. Özellikle kadmiyum, civa, kurşun ve krom gibi ağır metalle, besin zincirleriyle girdikleri canlı bünyelerinden atılmadıkları için canlılarda fizyolojik olarak birikime neden olurlar ve bünyede belirli sınır derişimlerin aşılması halinde toksik etki yaparlar. Bu birikim sonucunda sularda yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir. Hatta bu tür su ürünleriyle beslenen insanların yaşamı bile tehlikeye girebilir. Örneğin vücuttaki civa birikimi 25 miligramı bulduğu zaman nörolojik bozukluklar, 25-100 miligram arasında görme ve işitme bozuklukları, denge bozuklukları ve parmak uçlarında dokunma hissinin azalması,

200 miligramın üzerindeki birikimlerde ise sağırılık, körlük, felç ve ölüm ortaya çıkmaktadır.

Çeşitli endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan yapay organik kimyasal maddeler, tarım alanlarında kullanılan pestisid ve herbisidler, suda doğal olarak güç parçalanmış bileşiklerdir. Bu tür bileşiklerin bir kısmı, canlı bünyelerinde yukarıda ağır metaller için anlatılanlara benzer şekilde birikime ve toksik etkilere neden olurlar. Diğer bir kısmı ise canlı bünyede mutajen ve kanserojen etki yaparlar. Geniş bir biçimde tarım yapılan arazilerde kullanılan tarım ilaçları genellikle çok dayanıklı olduklarından, ayrışmaları yıllarca sürebilir. Bunlar hem toprak kirlenmesine, hem de dolaylı olarak su kaynaklarının önemli ölçüde kirlenmelerine neden olmaktadır. Endüstrilerden kaynaklanan yapay organik maddelerin kolay parçalanabilir cinsten olmaları halinde, bu tür maddeler sudaki oksijen bilançosunu yukarıda anlatıldığı şekilde olumsuz bir biçimde etkilerler.

Yağlar ve benzeri maddeler su yüzeyini kaplayarak estetik açıdan olumsuz bir görüntü oluştururlar. Yüzeyde oluşan bu yağ tabakası sulara atmosferden oksijen transferini büyük ölçüde engeller ve atık suların neden olduğu kritik oksijen dengesini olumsuz bir biçimde etkiler. Bu etkilerin ötesinde, yağların kimyasal açıdan organik bileşikler oldukları hatırlanırsa, alıcı ortamlarda yukarıda organik maddeler için belirtilen tüm olumsuz etkilerin, yağlar içinde geçerli olduğu ortaya çıkar. Sulardaki ayrışabilirlikleri açısından yağların kökenleri de önem taşır. Bitkisel ve hayvansal kökenli yağların alıcı su ortamlarında parçalanmaları, mineral kökenli yağlara kıyasla daha hızlıdır. Alıcı su ortamlarına evsel ve endüstriyel atık sularla karışan yağların ötesinde, özellikle liman trafiği, tanker kazaları, sintine ve balast sularının boşaltımı denizlerimizde mineral yağlarla kirlenmeyi hızlandırmaktadır. Ayrıca, karada tankerlerle yapılan petrol, fuel oil ve akaryakıt taşıyıcıları sırasında oluşabilecek kazalar sonucunda çevreye yayılan yağlar, gerek yüzeysel gerekse de yeraltı suları için önemli kirlenme riskleri oluştururlar.

Sentetik deterjanların içerdikleri fosfor nedeniyle, alıcı ortamlarda ötrofikasyona neden olduklarına yukarıda işaret edilmişti. Ayrıca deterjanların sularda neden olduğu köpük, estetik bir sorun olarak ortaya çıkar. Bunun da ötesinde, deterjanlar kimyasal yapılarına bağlı olarak, alıcı su ortamlarında çeşitli düzeylerde kirliliğe neden olurlar. Ülkemizde oluşturulan deterjanların hammaddesini alkil benzen sülfonatlar (ABS) oluşturur. Bu deterjanların alıcı ortamlarda parçalanması çok güçtür. Bu nedenle pek çok ülkede deterjan üreten endüstriler ABS üretimini durdurmuş ve onun yerine liner alkil sülfonat (LAS) üretimine başlamışlardır. LAS'lar aerobik koşullarda biyolojik olarak

kolayca ayrışabilmekte ve deterjanlarla kirlenme problemi azalmaktadır. Ülkemizde deterjan hammaddesi olarak ABS üretilmektedir. Böylece zamanında devlet kuruluşlarınca alınmış olan yanlış bir karar nedeniyle, çevre kirliliğine yol açılmış olmaktadır. Bugün ise yapılmış olan yatırımların atıl kalacağı gerekçesiyle LAS üretimine geçilememektedir. Zamanında yatırımlar yapılmadan önce ÇED çalışması yapılmış olsa idi, bugün çok acı biçimde karşımıza çıkan bu ağır fatura ile karşılaşılmayacaktı.

Su kirliliği sadece atık sularla alıcı ortamlara verilen çeşitli maddelerden kaynaklanmaz. Atık suların içerdiği atık enerji de su kirliliğine neden olabilir. Özellikle termik ve nükleer santrallerin soğutma suları alıcı ortamlarda çok olumsuz etkiler yaratır. Su ortamlarının sıcaklığının artması, mevcut ekolojik dengelerin bozulmasına neden olur. Bunun da ötesinde, sıcaklık artışı sulardaki biyokimyasal reaksiyonları hızlandırır. Böylece oksijen tüketim hızları artar. Öte yandan sulardaki oksijen doygunluk derişimi sıcaklığın artışıyla azalır. Böylece artan sıcaklıklarda biryandan oksijen tüketimi hızlanan biyokimyasal faaliyetler nedeniyle artarken, suların oksijen kazanma hızları yavaşlar. Alıcı su ortamlarına yukarıda etkileri anlatılan organik kirlilik yükü vermekle atık ısı vermek, sonuçta aynı etkileri doğurur. Ayrıca sulardaki doğal sıcaklık dağılımları bu ortamlardaki ekolojik dengeler ve canlı yaşamı açısından büyük önem taşır. Atık ısı deşarjları bu dengeleri tamamıyla bozabilir. Bu nedenle özellikle termik santral yapımı kararı verilmeden önce, hava kirliliği ve uçucu kül gibi problemlerin yanı sıra, soğutma sularının içerdiği atık ısının yaratacağı çevresel etkiler dikkatle incelenmelidir. Aksi takdirde yukarıda deterjan hammaddesi üretimi örneğinde görüldüğü gibi, olumsuz sonuçlar ortaya çıktığında bunlardan geriye dönmek çok güç ve hatta imkânsız olacaktır.

Endüstriyel ve evsel kullanımdan kaynaklanan atık sular inorganik tuzlarda içerirler. Alıcı ortamlarda tuz içeriğinin bir miktar artışı yukarıda sayılan diğer kirletici etkilere kıyasla daha az zararlı etkiler yapmakla beraber, yükselen tuz derişimleri, suların gerek içme ve kullanma suyu, gerekse de tarımsal sulama suyu olarak kullanım kalitelerini olumsuz yönde etkiler.

Atık suların içerdiği askıdaki katı maddeler, bu suların deşarj edildiği alıcı ortamlarda birikintilere ve dip çamuru oluşumuna neden olur. Dip çamuru oluşumu, su ortamlarının tabanında gelişen (bentik) canlıların yaşamını engeller. Askıdaki katı maddeler organik kökenli iseler, oluşan dip çamuru zamanla anaerobik ayrışmaya uğrar ve yukarıda çözülmüş organik madde için belirtilen tüm sakıncalı durumlar, bu kez tabanda oluşur. Aşırı miktarda askıda katı madde içeren atık suların alıcı ortamlara verildiği

kanalizasyon çıkış ağızlarının çevresinde su yüzeyine kadar yükselen ve estetik olmayan görünümler oluşur. Askıdaki katı maddeler sudaki bulanıklığı artırır ve ışık geçirgenliğini azaltır. Bunun sonucunda sağlıklı bir ekosistem için gerekli olan fotosentez respirasyon dengeleri bozulur. Alıcı su ortamlarına evsel ve endüstriyel atık suların getirdiği askıda katı maddelerin yanı sıra, ormanların ve meraların tahribi, yamaç alanlarında tarım yapmak için orman ve mera alanların açılması, yanlış hayvan otlatılması, sanayi ve yerleşim için yanlış yer seçimi gibi etkiler, doğal toprak örtüsünün yok olması ve büyük boyutlara varan erozyona yol açmakta ve bunun sonucunda verimli toprak üst katmanları su ortamlarına taşınarak, bu ortamlarda yukarıda anlatılmaya çalışılan tüm olumsuz etkileriyle birlikte askıda katı madde yükü olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu şekilde oluşan erozyon ürünleri taşınıp geldikleri baraj ve göllerin dolmasına ve bu yapay ve doğal su kaynaklarının zamanla yok olmasına neden olmaktadır. Türkiye topraklarının %91,1'inde çeşitli şiddetlerde erozyon vardır [24]. Bu toprakların taşınması ve sellerin oluşumu yerleşme yerlerine zarar vermekte, tarım alanlarımızı kullanılmaz derecede tahrip etmekte ve toprağın taşındığı yerler verim gücünü kaybetmektedir.

Sonuç olarak, bir yandan çeşitli yüzeysel ve yer altı suyu kullanımları, doğal toprak örtüsünün yok olması, kentsel alanlar, madencilik alanları ve tarım arazileri gibi yaygın kaynaklar, diğer yandan evsel ve endüstriyel atık su deşarjları gibi noktasal kaynaklardan alıcı ortamlara ulaşan kirleticilerin bu su kaynaklarını büyük ölçüde kirlettikleri ve alıcı suyun eğlence ve dinlenme açısından kullanımını da büyük ölçüde engelledikleri söylenebilir. Kullanılmış atık sularla kirletilmiş boşaltım ortamlarında yüzme, su sporları, balıkçılık yapma olanakları çok kısıtlanır, kirlenmenin artması ile de ortadan kalkar. Estetik açıdan da kirletilmiş sular insanlar için hoş bir görünüm arz etmezler.

Kirletilmiş alıcı sular, bu suların değişik amaçlar için kullanımını da engeller. Endüstriyel ve kentsel su temini için bu kirletilmiş alıcı su kaynaklarının arıtılması gereklidir. Buda büyük bir maliyet gerektirdiğinden, alıcı su ortamlarının kirletilmesi ekonomik açıdan da tutarlı değildir. Eğer alıcı su ortamı içme suyu teminin de kullanılacaksa, içme suyu için gerekli sınırları sağlamak çok zor olur. Bu durumlarda ileri arıtma yöntemleri gerekir ve arıtılmış su maliyeti önemli ölçüde artar.

1.9. Atık Suların Arıtılması

Atık suların tasfiyesi için en önemli sorun öncelikle şehirde uzaklaştırma tekniğine uygun bir kanal şebekesinin (atık su toplama ağı) bulunmasıdır. Genellikle toplama ağları birleşik ve ayrık sistem olarak iki gruba ayrılır.

Birleşik sistemde, bütün sular (yağmur suları + atık sular) tek bir kanalda akar.

Ayrık sistemde, yağmur suları ve atık sular kendilerine ait toplama ağlarında akarlar.

Bu kanal şebekeleriyle toplanan atık sular gerekiyorsa bir arıtmadan geçirilerek şehirden uzaklaştırılırlar ve bir alıcı ortama (deniz, göl, akarsu) verilirler. Deniz kenarında kurulmuş olan şehirler bu bakımdan büyük avantaja sahiptirler. Atık suları geleneksel bir boru ile denize vermek geleneksel bir çözüm olarak uygulanmıştır. Uzun deşarj boruları ve yayıcıların kullanılması ise nispeten yenidir.

1.9.1. Suların ve Atık Suların Arıtılmasında Kullanılan Genel Yöntemler

Su ve atık su arıtımı prensip bakımından birbirinden çok farklı değildir. Sadece tesise giren suyun kirlilik derecesi ile arıtılmış suyun kalitesinde fark vardır. Bu nedenle, istenilmeyen maddelerin ortadan kaldırılması veya bu maddelerin kabul edilebilir şekillere sokulması için kullanılan arıtma işlemleri de esas olarak birbirine benzer. Fakat bu arıtım işlemleri her iki cins su arıtımında aynı şiddet, hız ve şekilde meydana gelmez.

Su ve atık su arıtmasına ait işlemlerde aşağıdaki konular önemlidir.

1. Su arıtma tesislerinde, ham su ile ilgili çeşitli özellikler dikkate alınarak, arıtılmış sudan istenen kaliteyi temin edebilecek bir arıtma yöntemi uygulanmalıdır.

2. Atık su arıtma tesislerinde, atık suyun özellikleri, konsantrasyonu ve bileşimi göz önünde tutularak, arıtmadan çıkan suda aranan özellikleri sağlayacak çeşitli alternatifler dikkate alınmalıdır.

Kullanılacak arıtma işleminin seçimi ve detaylarının düşünülmesi arıtma işleminin hesabını oluşturur.

Su ve atık su arıtma tesislerinin hesabı şu esaslara dayanır.

1. Çeşitli arıtma işlemlerinin ve kullanılan teçhizatın anlaşılması (arıtma işleminin hesabı)

2. Kullanılan çeşitli yapı ve boruların içinden geçen su, kullanılmış su, çamur ve ekseriya hava akımına etkileyen faktörlerin bilinmesi (hidrolik hesap)

3. Bu tesislerin yapısal özelliklerinin kavranması (statik ve mukavemet hesabı) [8].

1.9.2. Atık Su Arıtımında Temel Hedefler

Atık su arıtımında temel hedef, atık suyun deşarj edildiği ortamlarda halk sağlığına ve ekolojik dengeye olabilecek menfi etkilerin en az düzeye indirilmesidir. Atık su arıtımında gerçekleşen temel aşamalar şunlardır;

1. Askıdaki katı maddelerin uzaklaştırılması
2. Zararlı ağır metal ve zehirli bileşiklerin uzaklaştırılması
3. Biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin uzaklaştırılması
4. Alıcı ortam durumuna bağlı olarak azot ve fosforun uzaklaştırılması
5. Patojenik organizmaların yok edilmesi

Atık su parametrelerinden hangisinin ne derecede arıtılacağı, kanunlar ve yönetmeliklerle mevcuttur. Alıcı ortamların kirlilik özümseme kapasitelerine bağlı olarak belirlenen deşarj standartları ülkeden ülkeye farklılıklar gösterebilmektedir. Bir akarsuya yapılacak deşarj ile bir deniz ortamına veya bir göl ortamına yapılacak deşarj kriterleri değişik olmaktadır. Arıtılmış sular, eğer sulama suyu olarak kullanılacaksa, sulama suyu standartlarına göre arıtım kademelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Endüstriyel atık sular için evsel atık sulara göre tamamen farklı standartlar kullanılmaktadır. Türk Çevre Kanunu'nun "Su Kirliliği'nin Kontrolü" Yönetmeliği'nde toplam nüfusa bağlı olarak farklı arıtma metotları için evsel atık su deşarj standartları belirtilmiştir. Aynı yönetmelikte endüstriler için ve deniz ortamına yapılacak atık su deşarjları için de standartlar yer almaktadır [25].

1.9.3. Atık Su Arıtma Yöntemleri

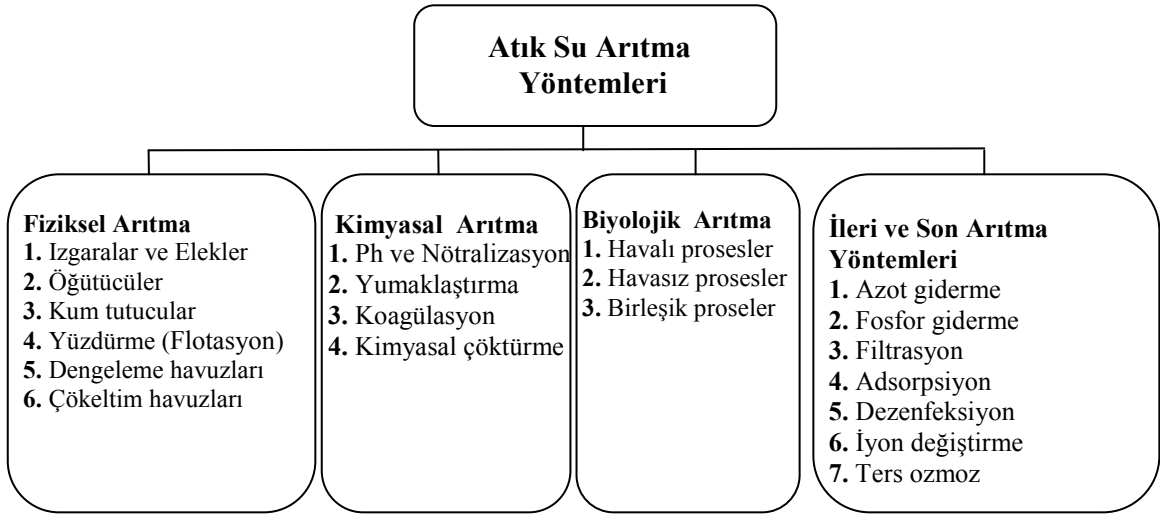
Atık sular, suların çeşitli kullanımlar sonucunda atık su haline dönüşerek yitirdikleri kimyasal, fiziksel ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırabilmek veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal, fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemlerinin biri veya birkaçına tabi tutulurlar.

Atık su bünyesinde kirliliğe neden olan yabancı maddeler, tane boyutlarına göre çökebilir, askıda, koloidal ve çözünmüş halde bulunabilirler. Her madde grubu değişik metotlarla uzaklaştırılabilirler.

Atık su arıtma yöntemleri temel olarak 3'e ayrılır;

- 1) Fiziksel arıtma yöntemleri
- 2) Kimyasal arıtma yöntemleri
- 3) Biyolojik arıtma yöntemleri

Değişik karakterdeki atık sular için değişik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Evsel atık sular için genelde fiziksel ve biyolojik arıtma yöntemleri tercih edilirken endüstriyel atık suların arıtımı için kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, her üç yöntemde kullanıldığı arıtma sistemleri de mevcuttur. Atık su arıtma yöntemleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Atık su arıtma yöntemleri

1.9.3.1. Fiziksel Arıtma Yöntemleri

Fiziksel arıtım prosesleri, atık suyun içerdiği askıda kolloidal partikülleri ve diğer iri katı maddeleri sudan ayırarak, ileriki proseslere arıtılmak üzere hazırlayan yöntemlerdir.

1.9.3.1.1. Izgaralar ve Elekler

Atık suyun arıtma tesisine girişinde yer alan ilk işlemdir. Amaç, atık su yüzeyinde yüzen katı maddeleri uzaklaştırarak makinelerin etkilenmesini engellemektir. Eleklerde tutulan büyük parçalar daha sonra gömülür, yakılır veya küçük parçalara öğütülerek atık suya karıştırılır.

1.9.3.1.2. Ögütücüler

Ögütücüler genellikle ızgaralara monte edilerek burada tutulmuş olan maddeleri parçalar ve küçültürler. İnce bir şekilde kıyılan bu maddeler, çökeltme suretiyle sudan uzaklaştırılmak üzere, normal olarak tekrar suya döndürülürler.

1.9.3.1.3. Kum Tutucular

Arıtma tesisine gelen pis suda bulunan kum, çakıl v.b gibi kolayca çökebilen maddeler, pompaların aşınmasına, kanallar, borular, çökeltme havuzları ve çamur çürütme tanklarında tıkanmalara sebebiyet vereceğinden kum tutucular vasıtasıyla pis sudan uzaklaştırılırlar. Kum tutucular dairesel veya uzunlamasına çökeltme (sabit hızlı), havalandırılmalı tipte olabilirler. Temel amaç 0,2 mm'den büyük kum tanelerinin tutulmasıdır. Kum tutucuda yatay hızın 0,3-0,4 m/sn olması temin edilmeli, organik menşeli katıların çökmesine izin verilmemelidir.

1.9.3.1.4. Yüzdürme (Flotasyon)

Atık sularda bulunan sıvı ve katı maddelerin yüzdürülerek su yüzeyinde toplanmasını ve sıyrılmalarını sağlayan işlemdir. Floatasyon işlemi sıvı ortama verilen gaz (genellikle hava) kabarcıklarının, yüzdürülecek tanelere tutunarak bunları yukarıya doğru birlikte hareket ettirmeleri şeklinde olur. Sudan daha hafif olan ve çökelmeyen yağ damlacıkları da bu yöntemle yüzeye taşınabilir. Böylece su yüzeyinde köpükler halinde toplanan katılar ve küçük yağ damlacıkları yüzeyden uzaklaştırılırlar. Floatasyon maddelerine örnek olarak, anyonik, nötr ve ya katyonik deterjanlar, yağ, gres, reçine ve tutkal verilebilir.

1.9.3.1.5. Dengeleme Havuzları

Atık sularda debi, bileşim ve kirlilik yükünün zaman içindeki değişimlerinin dengelenmesini ve arıtma tesislerine giden atık su debisinin düzenli olmasını sağlar. Dengeleme havuzlarında bileşimin homojenleştirilmesi ve askıdaki katı maddelerin çökmesinin engellenmesi için karıştırma uygulanır. Diğer yandan, dengeleme havuzunda yapılan karıştırma ve havalandırma ile indirgenmiş bileşiklerin oksidasyonu ve BOİ azaltılması sağlanır.

1.9.3.1.6. Çökeltim havuzları

Katı-sıvı karışımdan katı parçacıkların yerçekimi etkisiyle, karışımın bulunduğu kabın ya da havuzun alt kısmında toplanarak ayrılması işlemidir. Bu işlem, tesise giren kum, çakıl ve diğer organik ve inorganik katıların birincil çökeltme tanklarında ayrılmasında, suyun sertliğini gidermede kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu yumakların ve çökeleklerin ayrılmasında, biyolojik proses sonucunda oluşan biyokütlenin ikincil tanklarda ayrılmasında uygulanır.

Çökeltmiş maddelere çamur denir. Çamurlar çökeltme haznelerinden çamur stabilizasyon haznelerine gönderilerek arıtılırlar. Bunları arıtma yapmadan doğrudan araziye vermek yolları da uygulanmaktadır.

1.9.3.2. Kimyasal Arıtma Yöntemleri

Kimyasal arıtma prosesleri atık sudaki bileşiklerin kimyasal yapısını değiştirerek onları arıtmaya yarar. Dolayısıyla dışarıdan kimyasal madde eklemek suretiyle yapılır. Kimyasal arıtma proseslerinde daha az zararlı veya zararsız atıklar oluşur.

1.9.3.2.1. pH ve Nötralizasyon

Endüstriyel atık sular, kullanılan prosese göre asidik veya bazik karakter gösterir. Bu atıklara boşaltım işlemi yapılmadan ya da diğer arıtım yöntemleri kullanılmadan önce nötralizasyon işlemi yapılması gerekir. Bir biyolojik arıtım ünitesindeki optimum pH 6,5-8,5 arasındadır.

1.9.3.2.2. Yumaklaştırma

Hızlı karıştırma sonrası yüzey yükleri en aza indirgenen ve aralarında itici güç bulunmayan parçacıkların bir araya getirilerek, daha büyük tanecikler oluşturmaları yumaklaştırma tankında gerçekleştirilir ve sonuçta çökeltme tankında çökmeleri sağlanır.

1.9.3.2.3. Koagülasyon (Kimyasal Pıhtılaştırma)

Bu işlemde çökebilene, fakat daha özel olarak, çökemeyen ve asılı ve koloidal halde

bulunan maddelerle birleşmesi için, yumaklar oluşturan kimyasal maddeler suya veya kullanılmış suya ilave edilir. Böylece hızla dibe çöken yumaklar meydana gelir. İlave edilen pıhtılaştırıcı maddeler (koagülan) suda eriyebilen maddelerdir. Fakat bunlar suda veya kullanılmış suda bulunan veya özel olarak ilave edilen maddelerle reaksiyon yaparak çökelerler. Su arıtımında çöktürme yoluyla ortadan kaldırılmamış olan yumaklar genel olarak süzülme suretiyle sudan uzaklaştırılırlar. En çok kullanılan kimyasal maddeler, alüminyum ve demir tuzlarıdır. Çöktürücü maddeler genellikle, suda doğal olarak bulunan alkalilik ile daha seyrek olarak da soda (Na_2CO_3) gibi maddeler tarafından suya ilave edilen alkalilikten oluşur. Bunun örnekleri şunlardır.

1. Suyu alüminyum sülfat ilavesi
2. Sulara veya kullanılmış sulara demir (üç) klorürü ilavesi

Çöktürme havuzlarına ilave olarak dozlama, karıştırma ve yumaklaştırma yapılabilmesi için de gerekli donanıma ihtiyaç vardır.

1.9.3.2.4. Kimyasal Çöktürme

Kimyasal çöktürmenin endüstriyel atık su arıtımında en yaygın uygulaması ağır metallerin giderilmesi amacına yöneliktir. Bu işlemde amaç, atık suda çözünmüş bileşikler halinde bulunan ağır metallerin en az çözünür hale dönüştürülmesi, ya da atık suda bulunan kimyasal dengenin çeşitli kimyasal maddeler eklenerek bozulup yeni bir kimyasal dengeye dönüştürülmesidir. Sönmüş kireç (CaO , CaO.MgO ve Ca(OH)_2), kostik soda (NaOH) ve soda (Na_2CO_3) kimyasal çöktürmede yaygın olarak kullanılan kimyasallardır. Buna ait örnekler şunlardır.

1. Demir içeren sulara veya kullanılmış sulara kireç ilave etmek suretiyle demirin yumaklaştırılması (flokülasyonu), meydana gelen koagülasyon olayıyla asılı haldeki maddelerin dibe çökmesi hızlanır ve erimiş oksijen sayesinde reaksiyon tamamlanır.

2. Havalandırma suretiyle demir ve manganez çöktürülerek sudan ayrılır. Bu erimiş oksijen sayesinde meydana gelen bir oksitlenme reaksiyonudur.

3. Kireç ilavesiyle (karbonat sertliğinin) ve soda ilavesiyle (karbonat olmayan sertliğin) giderilerek su yumuşatılır.

4. Trikalsiyum fosfat ilavesiyle flüorürler çökeltilecek sudan ayrılır. Yumuşak sularda bunlar magnezyumla birlikte çöktürülebilir.

Gerekli çökeltme havuzlarına ilave olarak dozlama, karıştırma ve yumaklaştırma donanımına ihtiyaç vardır [8, 19, 26, 27].

1.9.3.3. Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyolojik arıtma atık suyun içinde bulunan askıda veya çözülmüş organik maddelerin bakterilerce parçalanması ve çökebilen biyolojik floklarla sıvının içinde kalan veya gaz olarak atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşmesidir. Biyolojik arıtmanın esası organik kirleticilerin doğada yok edilmeleri için yer alan biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerinin kontrolü ile çevrede ve optimum şartlarda tekrarlanmasıdır. Böylece doğadaki reaksiyonların hızlandırılarak daha kısa bir sürede, emniyetli ortamda gerçekleştirilmeleri sağlanmaktadır. Biyolojik arıtma sistemleri değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Ortamda oksijen varlığına göre havalı (aerobik) ve havasız (anaerobik) olarak sınıflandırılan bu sistemler kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre askıda ve sabit film (biyofilm) prosesleri olarak da sınıflandırılabilirler.

Bazı tanımlar;

Havalı (aerobik) Prosesler: Oksijenin bulunduğu ortamda faaliyet gösteren biyolojik arıtma sistemidir.

Havasız (anaerobik) Prosesler: Oksijenin olmadığı ortamda faaliyet gösteren biyolojik arıtma sistemidir.

Anoksik Denitrifikasyon: Oksijenin olmadığı ortamda nitrat azotunu biyolojik olarak azot gazına çeviren prostestir. Bu proses havasız denitrifikasyon olarak ta bilinmektedir.

Biyolojik Besi Maddesi Giderimi: Biyolojik arıtma prosesinde azot ve fosforun giderilmesidir.

Fakültatif prosesler: Organizmaların moleküler oksijenin bulunduğu veya bulunmadığı ortamlarda fonksiyon gösterebildiği biyolojik arıtma prosesleridir.

Karbonlu BOİ giderimi: Atık sudaki karbonlu organik maddelerin yeni hücrelere ve çeşitli gaz formundaki son ürünlere biyolojik olarak dönüşümüdür. Bu dönüşümde, çeşitli bileşiklerde bulunan azot amonyuma dönüştürülür.

Nitrifikasyon: Amonyagin önce nitrit daha sonra nitrata dönüştürüldüğü biyolojik prostestir.

Denitrifikasyon: Nitratı azot ve diğer gaz formundaki son ürünlere dönüştüren biyolojik prostestir.

Substrat: Biyolojik arıtmada dönüştürülen organik madde veya besi maddesi anlamında kullanılır.

Askıda Büyüyen Prosesler: Biyolojik arıtma sisteminde organik ve diğer maddeleri dönüştürmekten sorumlu mikroorganizmaların sıvı ortamda askıda bulunması halidir.

Tutunarak Büyüyen Prosesler: Biyolojik arıtma sisteminde organik ve diğer maddeleri dönüştürmekten sorumlu mikroorganizmaların taş, cüruf veya özel tasarlanmış seramik veya plastik dolgu malzemelerinin üzerine tutunarak sıvı ortamda bulunmasıdır. Bu arıtma sistemleri sabit-film prosesleri olarak da bilinirler.

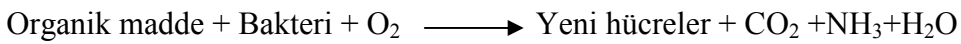
Atık su arıtımında kullanılan önemli biyolojik prosesler Tablo 9’da verilmektedir. Arıtmada beş önemli grup bulunmaktadır. Bunlar; havalı prosesler, anoksik prosesler, havasız prosesler, birleşik havalı, anoksik ve havasız prosesler ve lagün prosesleridir. Her bir proses askıda, tutunarak büyüyen veya birleşimi olacak şekilde alt gruplara bölünebilir.

Sık kullanılan biyolojik prosesler şunlardır.

1. Aktif çamur metodu
2. Damlatmalı filtreler
3. Havalandırılmalı lagünler
4. Döner biyolojik diskler

1.9.3.3.1. Aktif Çamur Metodu

Aktif çamur metodunun amacı, atık suyun içindeki organik maddelerin mümkün olduğu kadar biyolojik anlamda ortadan kaldırmaktır. Atık suları aktiveleştirilmiş biyolojik yumaklar haline dönüştürmeyi hedef alan aktif çamur metodu, kirli suların aerobik koşullar altında doğal olarak kendi kendini arıtımı olayına eşdeğer bir işlemdir. Bu sistemin esası şu denklemle ifade edilir.



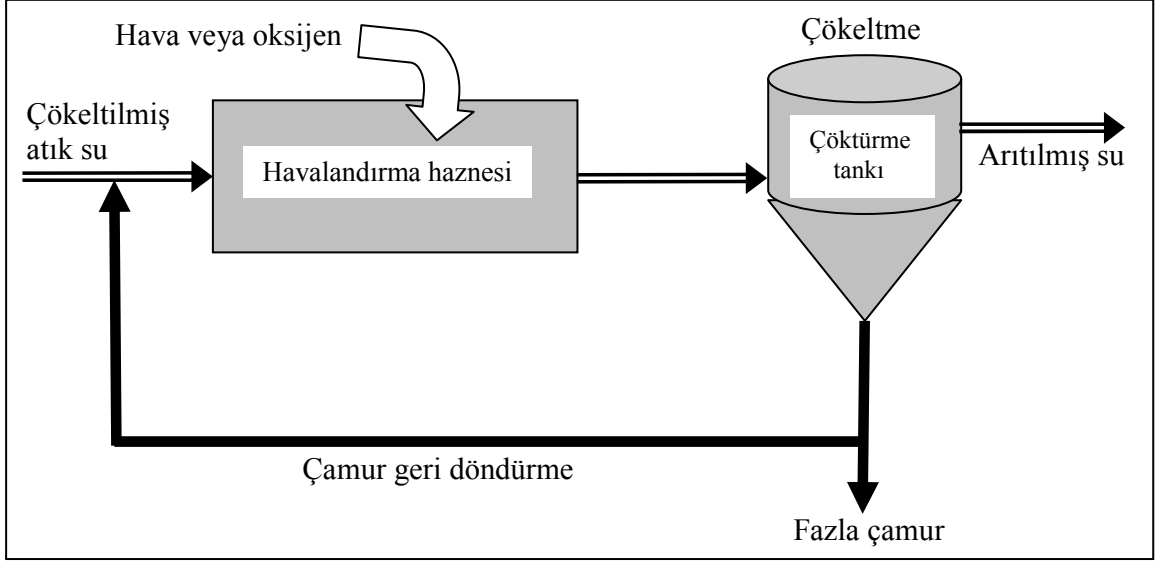
Tablo 9. Atık su arıtımında kullanılan önemli biyolojik arıtma prosesleri [20].

Tipi	Genel Adı	Kullanımı
Havali Prosesler: Askıda büyüyen	Aktif çamur prosesleri Havalandırılmalı lagün Havali çürütme	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon Stabilizasyon, Karbonlu BOİ giderimi
Yüzeyde büyüyen (biyofilmlili)	Damlatmalı Filtre Döner biyolojik disk Paket yataklı reaktör	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler	Damlatmalı Filtre ve Aktif Çamur	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon
Anoksik Prosesler: Askıda büyüyen Yüzeyde büyüyen	Askıda büyüyen denitrifikasyon Yüzeyde büyüyen denitrifikasyon	Denitrifikasyon Denitrifikasyon
Havasız Prosesler: Askıda büyüyen	Havasız kontakt prosesler Havasız çürütme	Karbonlu BOİ giderimi Stabilizasyon, katı giderimi, patojen giderimi
Yüzeyde büyüyen	Havasız akışkan yataklı reaktör	Karbonlu BOİ giderimi, atık stabilizasyonu, denitrifikasyon
Çamur yataklı	Havasız yukarı akışlı çamur yataklı reaktörler	Karbonlu BOİ giderimi, özellikle yüksek kuvvette atıklarda
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler	Yukarı akışlı çamur yataklı ve yüzeyde büyüyen	Karbonlu BOİ giderimi
Birleşik havali, havasız ve anoksik prosesler Askıda büyüyen	Tek veya çok basamaklı prosesler, çeşitli özel prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon P giderimi
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler	Yüzeyde büyüyen paketli tek veya çok basamaklı prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon P giderimi
Lagün prosesleri: Havalandırılmalı lagünler Olgunlaştırma havuzları Fakültatif havuzlar Anaerobik lagünler	Havalandırılmalı lagünler Olgunlaştırma havuzları Fakültatif havuzlar Anaerobik lagünler	Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi, atık stabilizasyonu

Bu sistemde kullanılmış su içindeki mikroorganizmalar askıdaki ve çözülmüş haldeki maddeleri gıda maddesi olarak kullanırlar. Mikroorganizmalar aerobiktir. Bundan dolayı aktivitelerinin sürdürülebilmesi için sisteme hava veya oksijen verilmesi gerekir. Havalandırma havuzundan çıkan karışık sıvı ikinci durultucu adıyla bilinen çökeltme

ünitesine geçirilir. Bu durultucu akış hızını düşürerek karışık sıvının yer çekimi ile çökeltmesini sağlar. Çökeltmenin iyi olabilmesi aktif çamurun özelliğine bağlıdır. Buda sistemde mikroorganizma ile organik madde arasındaki ilişkinin iyi kurulabilmesine bağlıdır. Son çökeltme havuzu (durultucu) tabanına çöken aktif yumakların bir kısmı, havalandırma havuzuna giren suyu, mikroorganizmalarla aşlamak maksadıyla geri döndürülür. Buna geri devir çamuru adı verilir. Durultucuda çökelen karışık sıvının üzerinde kalan berrak sıvı sistemden dışarı atılır (sistem çıkış suyu). Çökeltme haznesinin alt tarafından alınan geri dönüş aktif çamuru sisteme giren kullanılmış su ile havalandırma haznesinde karışır. Bu karışıma karışık sıvı denir. Karışık sıvı havalandırma haznesinin içinde birkaç saat (genellikle 6 saat) havalandırılır. Bu sürede atık sudaki bazı organik maddeler yeni mikroorganizma yumakları haline, diğerleri ise başka maddelere dönüştürülür (H₂O ve CO₂ gibi). Karışık sıvı havalandırma haznesinden durultucuya geçer ve yumaklar çökerek geri dönüş aktif çamurunu oluşturur. Çamurun havalandırma haznesine geri döndürülerek verilmesinin sebebi, havalandırma haznesinde karışık sıvı içindeki mikroorganizma miktarının kontrol edilmesidir. Aktif çamur sisteminin başarılı şekilde operasyonunun dayandığı temel fikir, karışık sıvıdaki (gıda maddesi/mikroorganizma) oranı dengesinin korunmasıdır. Bu denge genellikle yöntem yükü oranı olarak (F/M) şeklinde ifade edilir. Uygun operasyon koşulları mikroorganizmaların gıda maddesi ve oksijen gereksinimini dengeli bir şekilde sağlar. eğer gıda maddesi veya oksijen mikroorganizmaların çoğalmasını kısıtlayıcı etki yaparsa oluşan yumaklar durultucuda yeterince çökeltilemezler.

Geleneksel bir aktif çamur tesisinin akım şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Geleneksel aktif çamur tesisi

Aktif çamur sistemi ile ilgili kavramların anlaşılabilmesi için öncelikle ilgili terimlerin anlamlarının bilinmesi gerekir.

Aktif çamur (activated sludge): Havalandırılan kullanılmış su içinde oluşan mikroorganizma topluluklarıdır. Aktif çamurlar mikroorganizma toplulukları, organik maddeler ve bir kısım inorganik maddelerden meydana gelir. Mikroorganizmalar; bakteriler, mantarlar ve tek hücreliler ile sinek larvaları, kurtlar vs gibi çok hücreli canlılardan oluşur. Bakteriler ve mantarlar organik maddeleri ayrıştırarak çoğalırlar. Aktif çamur yumakları, koloidal ve süspansiyon haldeki maddeleri çözültiden adsorbe etme özelliğindedir.

Karışık sıvı (mixed liquor): Aktif çamurun ve kullanılmış suyun havalandırma havuzundaki karışmış halidir.

Karışık sıvıdaki yanabilir karakterli askıda katılar (mixed liquor volatile suspended solids, MLVSS veya volatile suspended solids, VSS): Askıda katı maddelerin aktif (canlı) kısmının konsantrasyonudur. Yakma deneyleri ile bulunur. Bunun değeri havalandırma haznesindeki mikroorganizma konsantrasyonu ile orantılıdır.

Net çoğalma miktarı: Mikroorganizmaların çoğalma ve azalma miktarları arasındaki farktır. Net çamur miktarı olarak da bilinir.

Hücrelerin ortalama tutulma süresi (mean cell resident time, MCRT): Mikroorganizmaların (hücrelerin) sistemde harcadığı ortalama zamandır. Sistem kontrolünde önemlidir.

Gıda maddesi / mikroorganizma oranı (Food to microorganisms ratio, F/M): F, atık suyun içindeki kgKOl/gün (veya kgBOI/gün) olarak tanımlanan gıda maddesi konsantrasyonudur. M, havalandırma haznesindeki mikroorganizmaların MLVSS (kg) olarak toplam miktarıdır (SI). Sistem kontrolünde önemlidir. F değerinin hesabında geri dönüş çamuru (RAS) dikkate alınmaz.

Çamur yaşı (Sludge age): Kullanılmış sudaki askıda katı madde miktarının (kg/gün), havalandırma haznesindeki katı envanterine oranıdır. MCRT ile karıştırılmamalıdır.

Geri döndürülen aktif çamur (Return activated sludge, RAS): Durultucunun alt akış kısmında toplanan ve havalandırma haznesine geri döndürülen karışık sıvı çökeltisidir.

Atılan aktif çamur (Waste activated sludge, WAS): Biyolojik sistemde dengeyi sağlamak için sistemden atılması gereken fazla mikroorganizma miktarıdır.

Yöntem yükü: F/M ile ölçülen organik yükleme değeridir.

Katı envanteri (Solids inventory, SI veya VSSI): Havalandırma haznesinde askıdaki katıların içindeki yanıcı katı maddelerin toplam miktarıdır. Yanıcı katı envanteri olarak da bilinir.

1.9.3.3.2. Havalandırma Sistemi

Havalandırmayla sisteme mikroorganizmalar için oksijen sağlanır. Basınçlı olarak verilen hava karışık sıvının karıştırılmasını da sağlar. Bu maksatla genellikle havayı karışık sıvı içinde yayma veya mekanik havalandırma sistemleri kullanılır. Yayma sistemlerinde basınçlı hava bir kompresörden yayıcı hava dağıtım boru ağı ile karışık sıvı içine verilir. Mekanik havalandırma çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir (Karıştırıcı pervaneler, suyun atmosfere fıskiye sistemleri ile sıçratılması v.b).

Hava Yayıcı (Difüzer) Sistemler: Aktif çamur sistemlerinde en çok kullanılan yöntemdir. Yayma sistemini havalandırma haznesinin altına döşenen çok sayıdaki yayıcı borular oluşturur. Yayıcıların bu şekilde döşenmelerinin sebebi, karışık sıvının hava kabarcıklarıyla temasının iyi bir şekilde sağlanabilmesidir.

Mekanik Havalandırma Sistemleri: Genellikle iki tip kullanılmaktadır. Bunlar, yüzeysel ve türbin havalandırıcılarıdır.

1. Yüzeysel havalandırıcılar: Yüzeysel havalandırıcılar havalandırma haznesinin içinde yüzücü şekilde hareket ederler veya destekler üzerine oturtulurlar. Paslanmayı önlemek için epoxy ile kaplanmış çelik malzemeden yapılırlar. Oksijen transfer verimleri

pervanenin suya batış miktarı ve dönüş hızına bağlıdır. Yüzeysel havalandırıcıların oksijen transfer verimleri 0,91 kgO₂/hp.saat civarındadır.

2. Türbin havalandırıcılar: Yüksek oksijen transfer verimleri ve düşük güç gereksinimleri sebebiyle tercih edilirler. Tam karışımlı aktif çamur tesislerinde çok kullanılan bir tiptir.

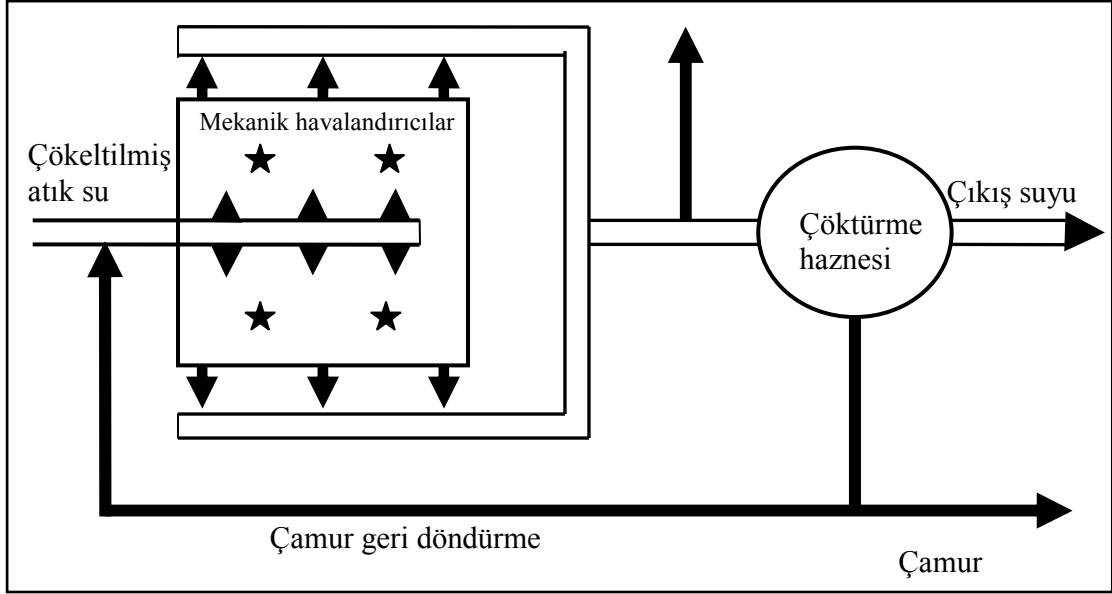
Havalandırma ve çözülmüş oksijen kontrolü: Havalandırma haznesindeki çözülmüş oksijenin konsantrasyonu normal olarak 1-3 mg/l aralığında tutulur. 1 mg/l'nin altındaki çözülmüş oksijen konsantrasyonlarında nitrifikasyon bakterilerinin aktiviteleri azalmakta ve bunlar ölmektedir. Bunun tersi olarak aşırı havalandırma, karışık sıvıdaki askıdaki katı yumakların parçalanmasına sebep olmaktadır. Bu durum yumak parçalarının çökme özelliklerini kaybederek, ikinci durultucunun yüzeyine çıkmalarına sebep olmaktadır. Aktif çamur yönteminin operasyonunun enerji giderleri yüksek olduğu için aşırı havalandırma sadece israfa sebep olmaz, aynı zamanda pahalı olup ikinci durultucuda düşük çöktürme karakteristiklerine sebep olur.

1.9.3.3.3. Aktif Çamur Metodunun Çeşitleri

Aktif çamur metotları arasındaki esas farklar iki grupta toplanabilir. Bunlar fiziksel sistemler ve yüklenme aralıklarıdır. Yöntem yüklemesi (F/M) oranı ve mikroorganizmaların tesiste ortalama tutulma zamanı (MCRT, Mean cell residence time) ile ifade edilir. F, sadece giriş atık suyu ile havalandırma haznesine giren BOİ yükü (kgBOİ/gün) olup, bunun hesabında geri dönüş çamuru hesaba katılmaz. M, havalandırma haznesindeki karışık sıvıdaki toplam yanıcı askıda katı madde (kg MLVSS) miktarı olup, katı envanteri (SI) olarak isimlendirilir. Fiziksel sistem farkları, havalandırma haznesinin yapısal özellikleri ve akış düzenidir. Modern aktif çamur sistemlerinin yapısal düzenlemeleri kadar suyun akış şekilleri bakımından farklı özellikleri taşıyan 4 çeşidi şunlardır.

- Klasik (geleneksel) sistem
- Tam karışımlı sistem
- Piston akımlı sistem
- Çamur havalandırılmalı sistem

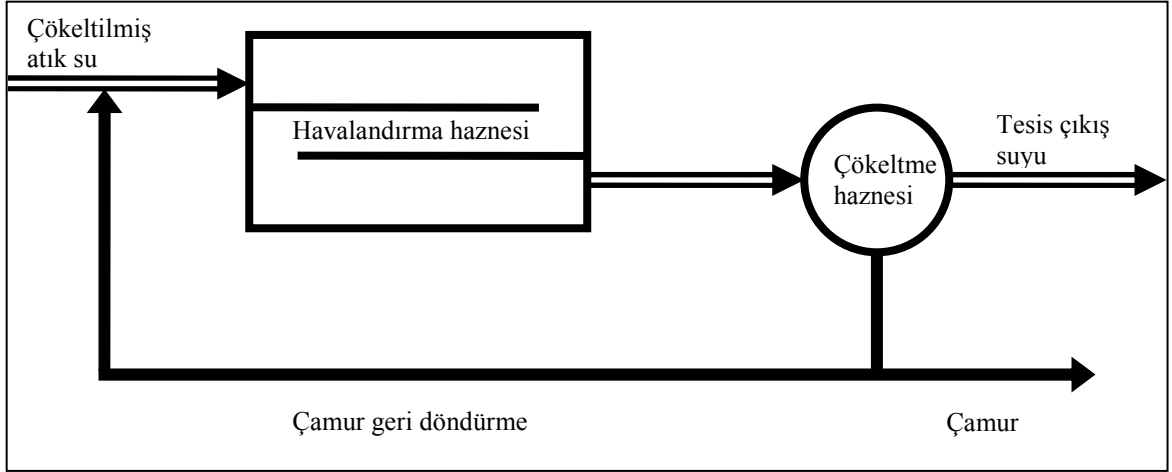
Tam karışımli ideal bir aktif çamur tesisinde haznenin içeriği homojen olmalıdır. Bunu sağlamak için, giriş suyunu homojen olarak dağıtmak ve çıkış suyunu çekmek gerekir. Bu maksatla özel tertipler yapılır. Haznenin iyi bir şekilde karıştırılması gerekir. Çözünmüş oksijen ve askıdaki katı madde ölçümleri ve boya çalışmaları ile haznenin içeriğinin homojen olup olmadığı devamlı kontrol edilir. Bu yöntem şok yüklemelerin her çeşidine karşı dayanıklı olup oldukça stabildir. Özel çalışma problemleri oluşturmazlar. Eldeki veriler bu sistemin diğerlerine kıyasla daha düşük çökeltme oluşturduğunu göstermektedir. Ancak bu sistemin normal yükleme operasyonu aralığında ürettiği çamurun çökebilirliği yeterli bulunmaktadır. Bu yöntemde, kullanılmış suyun çok kısa sürede çıkış suyu haline gelerek sistemden atıldığı ve bu nedenle de yeterli arıtılmadığı ileri sürülmektedir. Ancak yapılan incelemeler bunun doğru olmadığını, bu yöntemin diğer yöntemler kadar verimli çalıştığını göstermektedir. Şekil 7’de tam karışımli bir aktif çamur sistemi görülmektedir.



Şekil 7. Tam karışımli aktif çamur sistemi

İdeal bir piston akışlı aktif çamur tesisinde kullanılmış su ve geri devir çamuru haznenin baş kısmından içeri girer ve karışık sıvı olarak karşı uçtan dışarıya çıkarlar. Haznenin bir ucundan karıştırılan boya diğer uçtan haznede hidrolik kalış süresine eşit bir

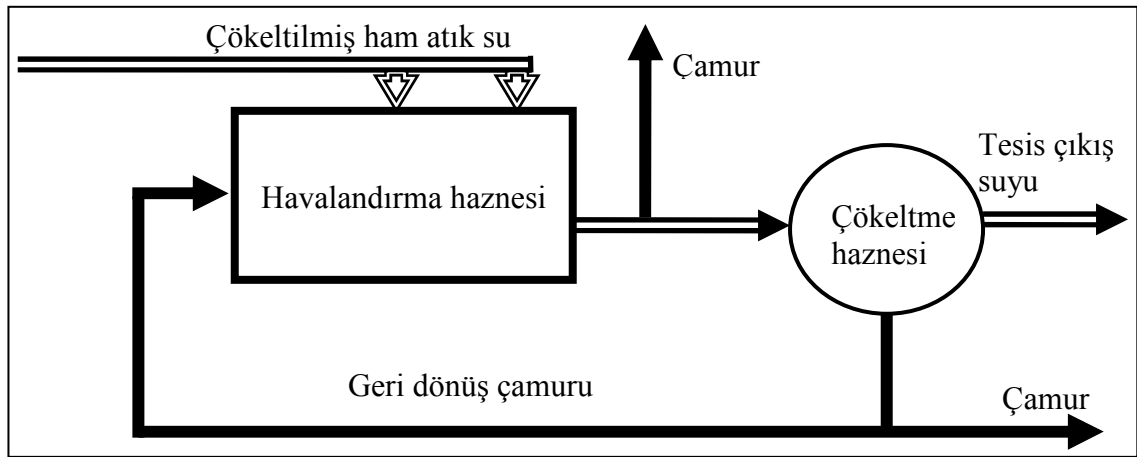
zaman sonra aynen alınır (Şekil 8). Bu nedenle bu sistemlere düzgün akışlı veya piston akışlı denilmektedir. Haznenin havalandırılması gerektiği için boylamasına karıştırılması gerekir. Karıştırma fazla olmadığı için akış düzgün şekilde devam eder. Havalandırma haznesinin birkaç bölüme ayrılması düzgün akışın daha iyi oluşmasını sağlar. Bu sistem şok yüklemelerden diğer sistemlere kıyasla daha fazla etkilenir. Bunun sebebi şok yüklemelerin haznenin başında yapılmasıdır. Haznenin başında yeterli çözünmüş oksijen konsantrasyonunun sağlanması zordur. Çünkü bu kısımda oksijen ihtiyacı çok fazla olmaktadır. Kademeli azalan (tapered aeration) havalandırma sistemi bu probleme bir çözüm olarak uygulandı. Azalan havalandırma sisteminde haznenin başında sisteme çok miktarda verilen hava, hazne boyunca kademeli olarak azaltılarak verilir. Bazı yetersizliklerine rağmen piston akışlı aktif çamur sistemi popülerliğine korumaktadır. Bu sistemlerin bazıları en iyi kalite sayılabilecek çıkış sularını verebilmektedir. Ürettikleri çamurun çökebilirliği yeterlidir. Piston akışlı sistemler, endüstriyel kirliliğin kontrol altında tutulması koşuluyla, evsel kullanılmış suları çok iyi derecede arıtabilmektedirler. Şekil 8’de bir piston akışlı sistemin şematik şekli gösterilmektedir.



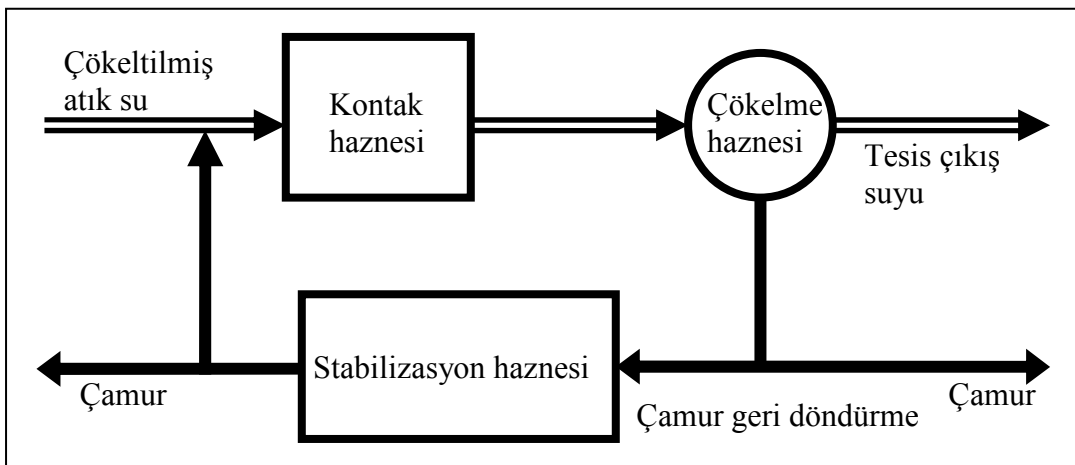
Şekil 8. Piston akışlı sistem

Havalandırma haznesinin projelendirilmesinde piston akış ve tam karışım sistemleri esas farklı sistemleri oluştururlar. Çamurun tekrar havalandırması yöntemleriye akış düzenindeki değişimler olup, bunların hepsi geriye dönüş çamurunun kullanılmış suya karışmadan havalandırılarak stabilizasyonunu kapsarlar. Bu sistemin çeşitleri, havalandırılan geri dönüş çamurunun miktarı ile sistemin temas (kontak) kısmındaki

çamurun miktarı arasındaki orana göre isimlendirilirler. Kademeli havalandırma (step feed) (Şekil 9) ve kontak stabilizasyon (contact stabilization) (Şekil 10) en çok kullanılan çeşitlerdir. Bunlardan iyi sonuçlar alınmıştır. Bu yöntemler aktif çamur tesisinin kapasitesinin büyük ölçüde artmasını, yüksek organik yüklemelerin daha küçük hacimli haznelerde havalandırılmasını sağlamışlardır. Şok yüklere karşı dirençleri tam açıklanamamış değildir. Genellikle çamurun havalandırılması yöntemi, havalandırma haznelerinin daha yüksek BOİ yüklerini kaldırabilecek şekilde kapasitelerinin artmasını sağlar. Bu sistemin en önemli avantajlarından biride, son durultucuda katıların yüklemesini azaltmasıdır.



Şekil 9. Kademeli havalandırmalı aktif çamur sistemi



Şekil 10. Kontak stabilizasyon aktif çamur sistemi

1.9.3.3.4. Yöntemin Yüklenmesi

Aktif çamur yöntemlerinde sistemin yüklenmesi, havalandırılan karışık sıvının iyi bir şekilde çökeltilecek, yöntemin verimli çalışmasını sağlayan 3 esas aralığa ayrılabilir. Bu yükleme aralıkları yüksek hız, klasik ve uzatmalı havalandırma olmak üzere üç kısma ayrılabilirler. 3785 m³/gün veya daha yüksek yükleme aralıklarında tesislerin klasik aralıkta çalışacakları düşünülerek projelendirilirler.

1.9.3.3.4.1. Geleneksel Yükleme

Geleneksel aktif çamur tesisleri 20°C'ta tipik bir atık su için 5-15 gün aralığında F/M oranı için 0,2-0,5 BOİ (kg/gün) / MLVSS (kg) değerleri aralığında çalışır. Şehirlerin büyük arıtma tesislerinin çoğu da klasik yöntem için uygulanan bu aralıkta çalışırlar. Bu aralığın orta değerlerinde tesisler iyi kalitede aktif çamur oluşturur ve nitrifiye olmazlar. Bu aralığın alt sınırında çalışan tesisler bazen iyi kaliteli çıkış suyu oluşturmalarına rağmen, tesis kısmen veya tamamen nitrifikasyona girer. Bunun sonucunda durultucuda yükselen çamur, çamur içinde filament bakteriler ve yüzeyde kahverengi yağ görüntüsünde köpük oluştururlar. Bu yükleme aralığının üst sınırında filament bakterilerin çoğalması ve çamurun çökmesinde düşme görülür. Bu nedenle F/M değerleri devamlı izlenmelidir. Dağınık çoğalma ve bulutlu çıkış suyu oluşumu olağandır. Yüksek yükleme durumlarına ulaşıldığı, havalandırma haznesinin üzerinde katı ve beyaz deterjan tipinde köpük oluşumundan anlaşılabilir.

1.9.3.3.4.2. Yüksek Hız Yüklemesi

Geleneksel yükleme değerlerinin 2-3 katı olarak uygulanan yüklemelerdir. F/M = 0,5-1,0 aralığında çalıştırılabilirler. Elde edilecek arıtmanın seviyesi, yüksek hızla çalışan tipik damlatmalı filtre ile karşılaştırılabilir. Bu yöntem belirli durumlarda tesirli şekilde kullanılsa da, yöntemin örneğin 3x3785 m³/gün yükleme için iyi sonuç vermediği örneklerde vardır.

1.9.3.3.4.3. Uzatmalı Havalandırma Yüklemesi

Başarılı bir operasyonun sağlanabileceği en düşük yükleme aralığıdır. Bu aralıkta çalışan tesisler genellikle küçük olup, 24 saat kontrol gerektirmezler. Evsel kullanılmış su için bu

tesisler 20°C de genellikle MCRT=20-40 gün ve F/M = 0,05-0,15 BOİ (kg/gün) / MLVSS (kg) değerleri aralığında çalışırlar. Bu yöntem bazen toplam oksidasyon yöntemi olarak da isimlendirilir. Bunun sebebi tesisin çok düşük bir yük için projelendirilmesi ve bu nedenle de atık suyun bütün BOİ'sinin CO₂ haline dönüştüğünün kabul edilmesidir. Uzatmalı havalandırma sistemlerinde çamurun artılmasına gerek olmadığı düşüncesi bundan kaynaklanır. Gerçekte ise toplam oksidasyon yöntemi diye bir şey yoktur. Çok uzatılan havalandırmadan sonra bile, çıkış suyunda askıda maddeler bulunur. Bu nedenle her gün olmasa bile çamurun sistemden atılması gerekir. Bu tesislerde oluşan yumaklar küçüktür. Bu nedenle ikinci durultucunun çıkış kanallarında görülebilirler. Bu tesislerde geriye nitrifikasyon ve yükselen çamur problemleri oluşabilir. Geleneksel yüklemde bahsedilen kahverengi yağlı görünümlü köpük, filamentler ve düşük kaliteli çökeltme bu tesislerde de oluşabilir. Eğer olanaklı ise ek havalandırma kapasitesi ile ve karışık sıvıdaki askıdaki madde (MLSS) miktarı düşürülerek bu problemler azaltılabilir. Bu tesislerden atılan çamur çok iyi stabilize olmuş haldedir. Bu nedenle işlenmesi ve uzaklaştırılması kolaydır.

1.9.3.3.5. Geri Dönüş Aktif Çamuru

Aktif çamur sisteminin verimli çalışması karışık sıvının iyi çökeltilmesi ile sağlanabilir. Geleneksel tipteki tesislerde geri dönüş çamuru genellikle tesise giren kullanılmış suyun %20-40'ı civarında tutulur. Geri dönüş çamuru yüzdeleri tesisin verimini etkiler. Tablo 10'da tesis tiplerine göre geri dönüş çamurunun tesise giren kullanılmış suya oranları verilmiştir.

Tablo 10. Geri dönüş çamurunun tesise giriş suyuna oranı [2]

Tesis çeşidi	Geri dönüş çamuru oranı (%)		
	30	15	75
Geleneksel	50	20	75
Yüksek hızlı	100	50	150
Kontak stabilizasyon	100	50	150
Uzatmalı havalandırma	100	50	200

1.9.3.3.6. Operasyon ve Kontrol

Aktif çamur yöntemi güvenilir bir yöntem olup, şok yüklemeleri karşılayabilir. Damlatmalı filtrelerle kıyasla daha fazla izlenme ve kontrol gerektirir. Bu nedenle işletme

problemleri oluşmadan optimum verimin alınabilmesi için uygun operasyon ve kontrol esastır. Aktif çamur yönteminde performansın değerlendirilmesi, BOİ, KOİ, askıdaki katı madde ve azot (nitrojen) gideriminin operasyon çeşidine bağlı miktarları, F/M parametreleri ve RAS ve WAS miktarlarının MCRT ve çamur yaşı parametreleri ile ilişkileri incelenerek yapılır.

Aktif çamur tesisinin performansına, hidrolik ve organik yükler, çoklu haznelere atık suyun dağıtım yöntemleri, atık suyun karakteristikleri (ph, sıcaklık, zehirli maddeler vs) gibi etki eden pek çok faktör vardır. Verimli ve ekonomik bir işletme için RAS, WAS ve havalandırma miktarının ayarlanarak kontrol altında tutulması gerekmektedir. F/M, MCRT ve çamur yaşı ayarlamaları, WAS miktarı ile doğrudan ilgili olduğu için, sistemin kararlılığının sağlanabilmesi açısından iki ayarlama arasında yeterli sürenin bırakılması gereklidir.

Aktif çamur yönteminde tesis içi geri dönüş akımlarının iyi ayarlanması gerekmektedir. Bu akımlar tesisin fazla organik ve hidrolik yüklenmesine sebep olabilmektedir. İyi işletilemeyen çamur üretim tesislerinden geri dönüş akımları ile gelen organik yük, toplam yükün %25 kadar olabilmektedir. Genellikle geri devir akımlarının çoğu birinci çöktürme haznesinin girişine verilerek, organik yükünde burada çökeceği düşünülmektedir. Fakat pratikte bu uygulama çoğu kez biyolojik yöntemlerde sistemin fazla yükü yüklenmesinin en önemli sebebini oluşturmaktadır.

Bu yöntemde hava gereksinimi, karışık sıvı içine hava transfer miktarına ve oksijenin mikroorganizmalar tarafından tüketilmesine bağlıdır. Oksijen transfer miktarı havalandırıcı cihazın yapısına bağlıdır. Çözünmüş oksijenin tüketilmesi ise mikroorganizmaların aktivitesine ve buda ph, sıcaklık, havalandırma süresi ve ortamdaki oksijenin miktarı gibi faktörlere bağlıdır. Oksijen gereksinimi birden fazla parametreye bağlı olmakla birlikte, en fazla kullanılan parametreler 1 kg KOİ veya BOİ giderimi için gerekli hava miktarının m^3 olarak değeri (m^3 hava / kg KOİ veya BOİ) ve 1 m^3 atık suyun arıtılması için kullanılan havanın m^3 olarak değeridir (m^3 hava/ m^3 atık su). Bununla ilgili değerler Tablo 11’de verilmiştir.

Karışık sıvı içindeki askıdaki katı maddeler (SS) canlı (mikroorganizmalar) ve cansız organik maddelerden oluşur. Canlı organik maddelere aktif kısım denir. Aktif kısım büyük öneme sahiptir. Çünkü bu kısım atık suyu arıtan mikroorganizmalardan oluşur.

Tablo 11. Aktif çamur tesislerinde tipik hava gereksinimi değerleri [2].

Hava yayıcı sistem (difüzer)			Mekanik havalandırma sistemi	
Hava (m ³)/KOİ veya BOİ (kg)		Hava (m ³)/atık su (m ³)	O ₂ (kg)/KOİ veya BOİ(kg)	
KOİ	BOİ		KOİ	BOİ
62-125	48-90	3,74 – 22,4	1,5-1,8	1,0-1,2

Aktif mikroorganizma konsantrasyonu ne kadar iyi bilinirse, aktif çamur yöntemi o kadar iyi kontrol edilebilir. Askıdaki katıların (SS) aktif konsantrasyonunun iyi bir şekilde ölçülmesi için çalışmalar yapılmıştır. En yaygın şekilde kullanılan ölçme yöntemi yanıcı katı madde miktarının (MLVSS veya VSS) tayinidir. VSS tayininde SS içindeki bütün organik maddeler yakılarak karbon dioksit ve su haline dönüşür. MLSS'nin %70-80'ni VSS dir. VSS tayini canlı biyolojik katıların (aktif kısım) kaba yaklaşımla konsantrasyonunu verir. Çünkü SS içinde cansız kısımda bir miktar oluşturur. Bununla birlikte VSS değerinin aktif kısmın konsantrasyonu için yeterli bir yaklaşım olduğu kabul edilerek kullanılmaktadır.

Katı envanteri (SI), mikroorganizmaların konsantrasyonunun (VSS) tesis içindeki miktarsal değeridir. VSSI simgesi ile de gösterilir. Aktif çamur tesisinin yeterince kontrol edilebilmesi için SI'nın bilinmesi gerekmektedir. F/M, MCRT ve atılan çamurun tayini için SI'nın bilinmesi gerekir. MCRT'nin artması SI'nın artmasına, F/M'nin artması SI'nın azalmasına sebep olur.

1.9.3.3.7. Gıda / Mikroorganizma Oranı (F/M) ve Haznede Ortalama Tutulma Süresi

Aktif çamur kinetiklerinde iki temel düşünce vardır. Bunlar Gıda/Mikroorganizma oranı (F/M) ve hücrelerin haznede ortalama tutulma süresi (MCRT) değerleridir. F/M değeri, farklı yazarlar tarafından F değeri için KOİ ve BOİ'den birisi kullanılarak, M değeri içinde SI, MLSS ve VSS değerlerinden biri kullanılarak ifade edilmektedir. F/M değeri için genel bir formül olarak,

$$\frac{F}{M} = \frac{KOİ(kg/gün)}{MLVSS(kg)} \quad (54)$$

veya

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{BOİ(kg/gün)}}{\text{MLVSS(kg)}} \quad (55)$$

bağıntısı verilebilir. F/M değerinin tersi BOİ çamur yaşı olarak ifade edilmektedir. Aktif çamurun sistemde kalma süresinin ifadesidir. Bununla ilgili başka bir ifade MCRT olup, katı envanterinin havalandırma haznesinde bir günde üretilen VSS miktarına oranıdır.

$$\text{MCRT} = \frac{\text{SI(kg)}}{\text{VSS(kg/gün)}} \quad (56)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

F/M ve MCRT değerleri çoğalma katsayısı, Y (Yield coefficient) ve içsel çürüme (bozuşma) katsayısı, K_D ile ilişkilidir. Çoğalma katsayısı oluşan mikroorganizma miktarının BOİ veya KOİ hesabıyla tüketilen gıda maddesine oranını ifade eder. Bunun tayini için aktif çamur tesisi birkaç farklı MCRT değerinde çalıştırılır. Evsel atık su için tipik değerler 0,3-0,4 VSS üretimi (kg)/KOİ tüketimi (kg) olarak verilebilir. İçsel çürüme katsayısı içsel metabolizma sonucu aktif mikroorganizma kütleindeki azalmayı ifade eder. Tipik değeri 0,05 civarında olup, bozuşan VSS(kg/gün)/SI (kg) olarak ifade edilebilir.

MCRT ile F/M arasındaki ilişkinin ifadesi şu şekilde verilebilir.

$$\text{MCRT(gün)} = \frac{1}{Y_x(F/M)_x (\text{giderme verimi}) - K_D} \quad (57)$$

$$\frac{F}{M} = \frac{\text{Uygulanan KOİ yükü (kg/gün)}}{\text{SI}} \quad (58)$$

$$\text{Giderme verimi (\%)} = \frac{A - B}{A} \quad (59)$$

Burada,

A = Atık suyun KOİ değeri (mg/l)

B = Çıkış suyu KOİ değeri (mg/l) dir.

1.9.3.3.8. Nitrifikasyon

Aktif çamur yöntemlerinin çoğu nitrifikasyonu yeterince sağlayacak şekilde projelendirilirler. Ham atık sudaki organik nitrojenin (azot) bir kısmı amonyak nitrojenine dönüşür. Amonyak nitrojeni nitrifikasyon bakterileri tarafından önce nitrit nitrojenine, bunu takibinde nitrat nitrojenine dönüştürülürler. İstenilen derecede nitrifikasyonun sağlanabilmesi için MCRT değeri yeterli olmalıdır (genellikle >10 gün). Çünkü nitrifikasyon bakterileri karbonlu maddeleri kullanan bakterilere kıyasla daha yavaş çoğalırlar. Bu nedenle sistemden atılan nitrifikasyon bakterilerinin miktarı sistem içindeki çoğalma miktarlarını aşabilmektedir. Bu durumda nitrifikasyonun iyi bir şekilde sürdürülmesi mümkün olmaz. Nitrifikasyon bakterilerinin çoğalmalarını etkileyen önemli faktörler, çözülmüş oksijen, ph, sıcaklık ve ortamda nitrojenli maddelerin bulunmasıdır. Nitrifikasyonun sürdürülebilmesi için havalandırma haznesindeki çözülmüş oksijen konsantrasyonu $\geq 1 \text{ mg/l}$ olmalıdır. Gerekli oksijen,

$$\text{O}_2 (\text{kg/gün}) = \text{NH}_3 (\text{kg}) \times 4,6 \quad (60)$$

denklemi ile yaklaşık olarak hesaplanabilir. Nitrifikasyon için optimum ph aralığı 7,8-8,9 olmasına rağmen karbondioksitin sistemden atmosfere çıkması için 7,6-7,8 aralığı tavsiye edilmektedir. 1kg amonyağın tahrip edilmesi için 7,1 kg CaCO_3 alkalitesinin tüketilmesi gerekmektedir. Bunun sonucunda havalandırma haznesinde ph düşmesi oluşmaktadır. Nitrifikasyon için optimum sıcaklık aralığı $15^\circ\text{-}35^\circ\text{C}$ dır. Atık suyun sıcaklığının kontrol imkanı olmadığı için kış günlerinde düşen sıcaklık sonucu azalan nitrifikasyonun dengelenebilmesi için, optimum ph aralığına uyulmak koşuluyla MCRT değeri artırılabilir. Nitrifikasyon bakterilerinin çoğalmaları organik yük artımından çok az etkilenir. Asıl olan ortamda nitrojenli gıda maddelerinin bulunmasıdır.

Nitrifikasyonun seyri için F/M, MCRT ve çamur yaşı değerleri önemlidir. Eğer çıkış suyunda amonyak nitrojeni değerleri deşarj limitlerini aşarsa MCRT veya çamur yaşı artırılır. Bu parametrelerin artırılması MLSS değerini artırarak F/M değerini düşürür. Diğer koşullar değişmediği takdirde günde oksitlenen amonyak nitrojeni miktarı ile havalandırılan MLSS miktarı arasında sabite yakın bir oran mevcuttur. 1 kg amonyak nitrojeninin oksitlenmesi sonucunda 0,05 kg hücre oluşur. Bundan anlaşılacağı üzere nitrifikasyonun çamur üretimine ve atılan çamurun miktarına etkisi çok küçüktür.

Aktif çamur tesislerinde havalandırma haznesinde normal olarak 1-3 mg/l çözülmüş oksijen bulunmalıdır. Bu şekilde haznenin yeterince karıştırılması da sağlanmış olur.

Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 0,5 mg/l'nin altına düşmesi çamurun kalitesini ve çökeltme özelliğini bozar. Aşırı havalandırma ise ikinci durultucuda yükselen flokların oluşmasına sebep olabilmektedir. Aşırı hava basılması operasyon masrafları zaten yüksek olan aktif çamur tesislerinin işletilmesini daha pahalı hale getirir.

1.9.3.3.9. Çamur Hacim İndeksi

Bir aktif çamur arıtma tesisinin operasyonunda aşağıdaki kontroller yapılır.

- Havalandırma haznesine verilen havanın miktarı
- Geri dönüş çamuru oranı
- Sistemden atılan çamur miktarı

Kontrol için şu ölçmeler yapılır.

- Karışık sıvıdaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu
- Tesis giriş ve çıkış sularının BOİ değerleri
- Havalandırma haznesindeki askıda katı miktarı
- Karışık sıvının çökebilirliği

Bu ölçümlerden elde edilen verilerden, BOİ tüketimi, BOİ yüklemesi, çamur hacim indeksi (Sludge volume index, SVI) tayin edilir. Çamur hacim indeksi 1 gram askıda katı maddenin 30 dakikalık bir çökeltme sonunda kapladığı hacim olarak tarif edilebilir. Çamur hacim indeksinin tayini için 1 litre karışık sıvı numunesi dereceli bir silindir içinde konularak 30 dakikalık bekletmeden sonra çökelen katıların hacmi (ml/1) ölçülür. Bulunan değer karışık sıvıdaki askıdaki katı madde konsantrasyonuna MLSS (mg/1) bölünerek 1000 ile çarpılır

$$SVI = \frac{V_c \times 1000}{MLSS} \quad (61)$$

V_c =30 dakikada çökelen çamur hacmi (ml/1)

MLSS=karışık sıvıdaki askıda katılar (mg/1)

İyi çökelebilen çamur oluşumu için SVI değeri 50-150 aralığında olmalıdır. Düşük kalitede çamur (çamur genişlemesi) halinde SVI'nin değeri 200'ü geçebilir.

1.9.3.3.10. Çamur Yaşı

Havalandırma haznesine giren askıdaki katı maddelerin havalandırılma süresidir. Havalandırma haznesindeki katı envanterinin (SI), sisteme giren atık sudaki askıda katı madde miktarına oranıdır. (MCRT ile karıştırılmamalıdır). Aktif çamur tesislerinin çoğunda bunun değeri 3-8 gün aralığında bulunur.

$$SA = \frac{V \times MLVSS}{Q \times SS} \quad (62)$$

veya

$$SA = \frac{SI}{Q \times SS} \quad (63)$$

SA = Çamur yaşı (gün)

V = Havalandırma haznesi hacmi(m³)

MLSS = Karışık sıvıda askıda katılar (kg/m³)

Q = Tesise giren kullanılmış su debisi (m³/gün)

SS = Tesise giren atık suda askıda katılar (kg/m³)

SI = Çamur envanteri (kg)

Klasik aktif çamur yönteminde MLSS konsantrasyonu 1500-3000 mg/1 aralığında değişir. Yüksek hızlı tesislerde ise 4000-5000 mg/1 aralığındadır. Örneğin, 120 mg/1 askıda katı madde içeren bir atık suyu alan ve 2500 mg/1 MLVSS ile ve 6 saat havalandırma süresi ile çalışan bir klasik aktif çamur tesisinde çamur yaşı 5,2 gündür.

1.9.3.3.11. BOİ Yüklemeleri ve Havalandırma Süreleri

Evsel kullanılmış suları arıtan bir aktif çamur tesisi için genel anlamda BOİ yükleme ve havalandırma süreleri Tablo 12'de verilmiştir. F/M değerinin bulunmasında bazı yazarlar MLSS yerine VSS değerini kullanmaktadır. VSS Aktif kısmın konsantrasyonu olup MLSS'in yaklaşık olarak %70-80'ni kadardır.

Tablo 12. Aktif çamur tesislerinde BOİ₅ yüklemeleri ve havalandırma süreleri

Tesis çeşidi	BOİ yüklemesi (F/M)		Havalandırma Süresi (saat)	Çamur geri dönüş oranı (%)	BOİ giderme yüzdesi (%)
	BOİ(kg/gün)	BOİ(kg/gün)			
	$\frac{\text{BOİ(kg/gün)}}{1000\text{m}^3}$	$\frac{\text{BOİ(kg/gün)}}{\text{SI(kg)}}$			
Yüksek hızlı tam karışimli	1600	0,5-1,0	2,5-3,5	100	85-90
Kademeli	480-800	0,2-0,5	5-7	50	90-95
Geleneksel	480-640	0,2-0,5	6-7,5	30	95
Kontak	480-800	0,2-0,5	6-9	100	85-90
Uzatmalı	160-480	0,05-0,2	20-30	100	85-95

1.9.3.3.12. Aktif Çamur Tesislerinin Boyutlandırılması

Biyolojik tasfiye ünitelerini boyutlandırırken deney yapmadan ve su kalitesini tam olarak tespit etmeden yapılacak bütün işlemler ancak tahmini yaklaşımlar olabilir. Özellikle endüstriden gelen suların arıtılmasında, modeller (pilot tesisler) yardımıyla, inşa edilecek sistemin benzeri üzerinde deneyler yapılarak, arıtma işlemlerinden elde edilebilecek biyolojik verim araştırılır.

Evlerden gelen atık suların arıtılmasında uzun ve zor olan bu deney metodu yerine, Tablo 12’de verilen yük birimlerinin tecrübeden elde edilmiş değerlerinden faydalanılabilir.

Genel olarak bütün arıtma üniteleri gibi, aktif çamur sistemleri de, çok yüklü (yüksek hızlı) veya az yüklü (düşük hızlı) olmak üzere iki şekilde çalıştırılabilir. Yüksek hızlı tesislerde kısmi arıtma, düşük hızlı tesislerde ise tam arıtma elde edilir. Kısmi arıtmanın verimi %80 den küçük ve çıkış suyunun BOİ₅ değeri 30 mg/l den büyük olur. Az yüklü aktif çamur sistemlerinde ise çıkış suyu BOİ₅ değeri 20 mg/l nin altında ve biyolojik verim %90 veya bu değer in üstünde olabilir.

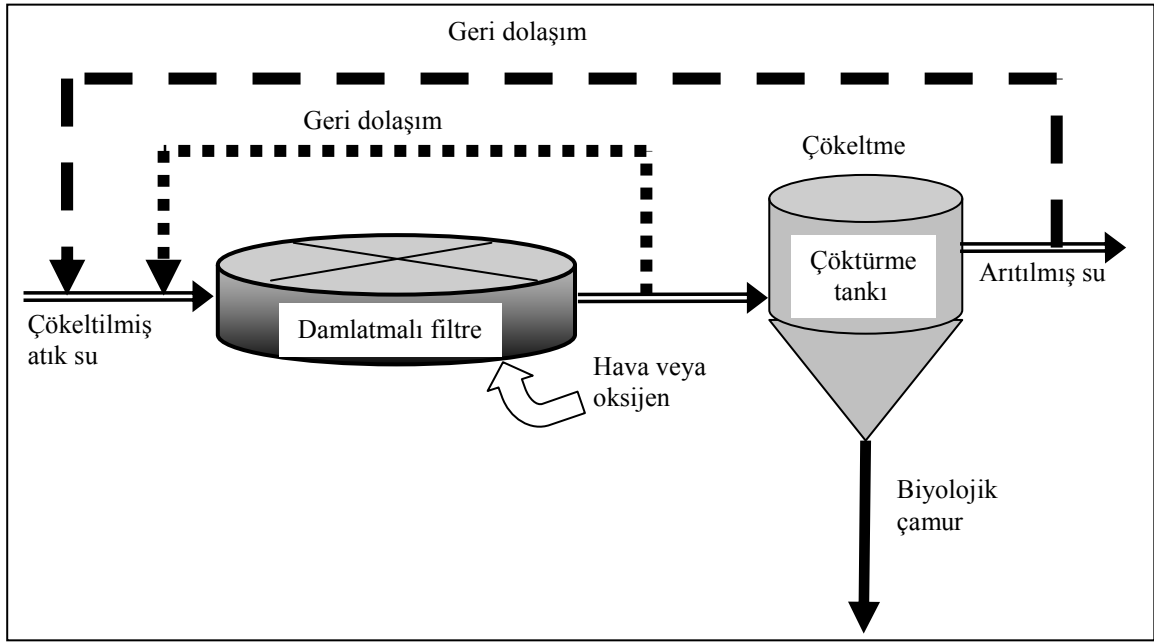
Elde edilmesi gereken biyolojik arıtmanın derecesi, yüzeysel su yataklarının kendi kendine temizlenme kapasitesine bağlıdır. Nehir, göl ve deniz kirlenmesi ile ilgili olarak bu konu daha önce detaylı olarak incelenmiştir. Bu bilgilerin ışığında arıtmaya gerek olup olmadığına, gerekli ise ne derecede bir arıtmanın (yani mekanik, kısmi veya tam arıtma hallerinden hangisinin) gerekli bulunduğuna karar verilir.

Normal olarak geri devir oranı 0,33 ila 1,0 arasında değişir (düşük hızlı tesislerde 0,30, yüksek hızlı tesislerde 1,0 civarında). Küçük tesislerde ve konsantre endüstri suları işleyen

tesislerde 1 den büyük olan geri devir oranları ile çalışılır. Zira bu hallerde havalandırma havuzunda süspansiyon madde konsantrasyonu 5 kg/m^3 ve çamur hacim indeksi 200 ml/g 'in üzerindedir.

1.9.3.3.13. Damlatmalı Filtreler

Ucuz havalandırma ve yöntem stabilitesi nedeniyle, damlatmalı filtreler popüler bir arıtma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Bu filtreler ABD'de 1908 tarihinde kullanılmaya başlandı. Bunlar, kullanılmış suları, kırma taş veya sentetik malzemedan meydana gelen bir ortam üzerinde gelişen biyofilm ile temas ettiren biyolojik sistemlerdir. Eskiden beri kullanılan klasik şekillerinde, çökeltmiş sular, kırma taş yığınlarına serpilmekte olduğundan, bunlara damlatmalı filtreler adı verilmiştir. Damlatmalı filtre tesisi bir damlatmalı filtre ile bir çöktürme havuzundan oluşur (Şekil 11). Filtrenin yapısını oluşturan ortam, mikroorganizmaların tutunmalarını sağlayan bir yüzey oluşturur. Atık su filtrenin yüzeyine uygulanır. Atık su mikroorganizmaların tutundukları filtre ortamının boşluklarından geçtikten sonra ortamın altındaki drende toplanır. Bu suların içindeki floklar çökeltme havuzunda çöktürüldükten sonra uzaklaştırılır. Çıkış suyunun bir kısmı filtrenin başına geri döndürülerek sisteme verilir. Dairesel veya dikdörtgen geometride tanklar kullanılabilir. Filtre içersinde hava sirkülasyonunu temin etmek ve filtre yüzeyinin kuru kalmaması için tedbir almak gereklidir. Filtre yüzeyinde üreyen bakteri tabakası zamanla kalınlaşarak kopar ve çıkış suyu ile birlikte tankı terk eder. Atık su içindeki bu bakteri kütlelerini sudan ayırmak için son çökeltme tankı kullanılması gereklidir. Son çökeltme tankından alınan bu bakteri kütlesi (çamur) sistem dışına alınarak çamur arıtım işlemlerine tabi tutulması gereklidir. Damlatmalı filtrelerde karşılaşılan en önemli problemler; filtre malzemesinin tıkanması, sinek problemi ve filtre malzemesinin donması riskidir [8, 25].

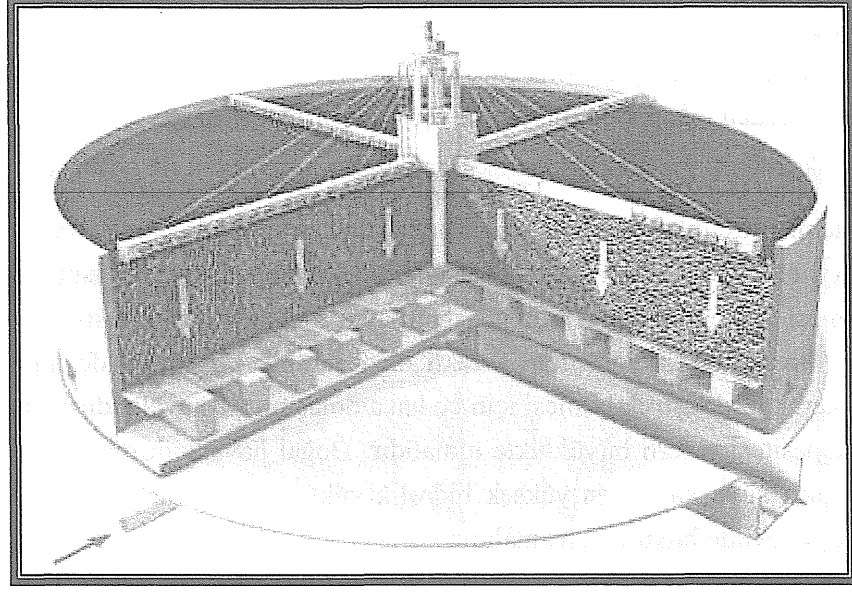


Şekil 11. Bir damlatmalı filtrede akış şeması

1.9.3.3.13.1. Yapısal Özellikler

Başlıca kısımları, bir döner dağıtıcı, drenaj sistemi ve filtre malzemesidir. Damlatmalı filtrenin ortamı süzücü veya filtre edici bir ortam değildir. Organik maddenin ayrılması için gerekli çamur filminin oluşarak gelişmesi için gerekli yüzeyi sağlar. Bu ortam kırık kaya parçaları, cüruf, kömür, tuğlalar, plastik veya herhangi bir çözünmeyen dayanıklı ve üniform malzemelerden olabilir. Ortamın üniform büyüklükte malzemelerden oluşturulması ve hava dolaşımının sağlanması filtrenin tıkanmaması için önemlidir.

Ortam malzemesinin çapı, hidrolik yükleme ve proje maksadına göre 7,5-12,5 cm arasında değişir. Kullanılan malzeme, sağlam, dayanıklı, suda erimez ve ufalanmaz cinsten olmalıdır. Bu sebeple en çok kırma taş ve benzeri malzemeler kullanılır. Tercih edilen tane çapı 10 cm dir. Her ne kadar daha küçük boyutlu malzeme, biyolojik maddelerin meydana gelmesi için daha büyük bir yüzey alanı temin ederse de, tanelerin arasındaki boşluklar tıkanma eğilimi gösterirler ve hava ve su geçişini sınırlandırır. Filtre yüksekliği 1,8 m ile 2,4 m arasında değişir. Filtrenin daha yüksek yapılması BOİ giderme verimini pek fazla artırmaz. Şekil 12’de bir damlatmalı filtrenin iç yapısı görülmektedir.



Şekil 12. Damlatmalı filtrenin içyapısı

1.9.3.3.13.2. Havalandırma

Filtrenin iyi çalışabilmesi için yeterli bir havalandırma sağlanmalıdır. Yeterli bir şekilde boyutlandırılan bir alt dren sistemi, hava ile atık su sıcaklıkları arasındaki fark sebebiyle filtre ortamı içinde doğal bir havalandırma sağlar. Aşağıdaki nedenlerle havalandırma işleminin yapay olarak (mekanik havalandırıcılar kullanılarak) yapılması gerekir.

- Çok derin yataklarda (biyolojik kuleler gibi)
- Düşük kotta yerleştirilen filtrelerde
- Yüğü fazla olan filtrelerde
- Kış sebebiyle veya koku nedeniyle üstü örtülen filtrelerde

Doğal havalandırma, kullanılmış su ve hava sıcaklıkları arasındaki fark nedeniyle oluşan yerçekimiyle meydana gelir. Havanın ısınması veya soğuması yoğunluk farkı oluşturur. Buda filtre ortamı içinde hava akımına neden olur (ısınan hava yükselirken, soğuyan hava aşağıya iner). Dolayısıyla hava akımının yönü havanın ve atık suyun sıcaklıklarına bağlıdır. Eğer havanın sıcaklığı atık suyun sıcaklığından daha fazla ise, soğuyan hava filtre içinde aşağıya doğru hareket eder. Eğer hava sıcaklığı atık suyun sıcaklığından daha düşük ise, ısınan hava filtre içinde yukarıya doğru hareket eder.

Yapay havalandırma sistemleri genellikle $0,30 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dk}$ havalandırmayı her iki yönde sağlayabilecek şekilde projelendirilirler. Ancak bu miktar organik yüklemeye ve mikroorganizmaların filtredeki aktivitelerine bağlı olarak değiştirilir. Havalandırıcılar havayı doğal hava akımının yönünde hareket ettirecek şekilde yerleştirilirler.

1.9.3.3.13.3. Damlatmalı Filtrelerin Sınıflandırılması

Damlatmalı filtreler normal olarak birinci kademe arıtmadan sonra yer alırlar. Uygulanan hidrolik ve organik yüklere göre genellikle üç sınıfa ayrılırlar. Bunlar,

- Düşük hızlı filtreler
- Yüksek hızlı filtreler
- Düzensiz hızlı filtreler

olarak verilebilirler. Damlatmalı filtreler derinlik, kısım adedi, ortam çeşidi, geriye devir akış şekli, dağıtım şekli (sabit veya hareketli) ve dozlama şekli (kesikli veya devamlı) özelliklerine göre de gruplandırılmaktadırlar [8].

Damlatmalı filtrelerin çeşitlerine göre özellikleri Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. Damlatmalı filtrelerin karakteristikleri [3].

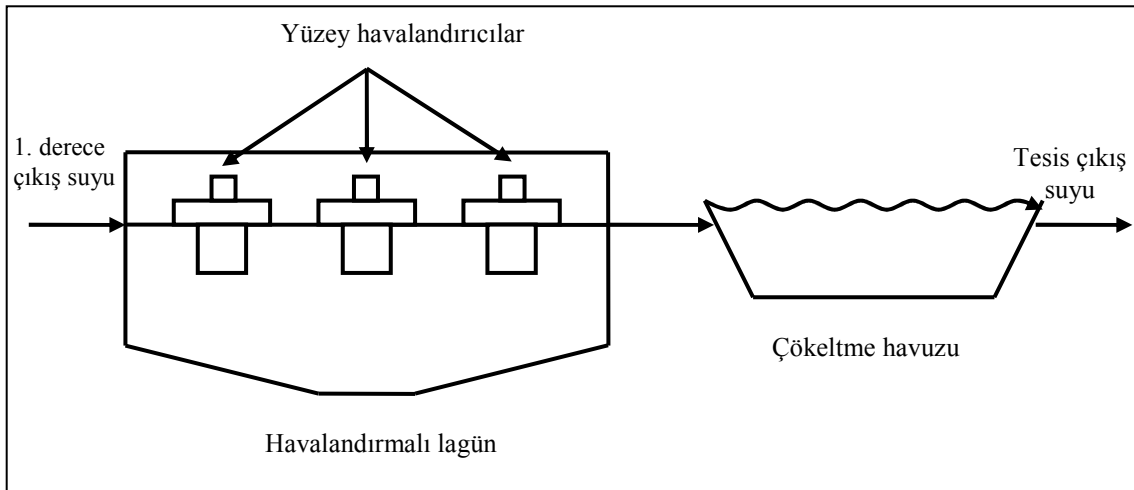
Parametre	Birim	Düşük hız	Yüksek hız	Düzensiz hız
Ortam tipi	-	Kırık kaya parçaları, cüruf vb.	Kırık kaya parçaları, cüruf, plastik, selvi çitaları vb.	Diğerleri için kullanılanların herhangi biri
Ortam derinliği	m	1,5-3,0	0,9-2,4	3,0-9,1
Organik yükleme(*)	kg BOİ/m ³ .gün	0,08-0,4	0,4-1,6	>1,6
Hidrolik yükleme	m ³ /m ² .gün	1,0-4,1	4,1-40,7	28,6-122,2(***)
Geri dolaşım oranı	Q _R /Q(**)	Bazen	0,5-2,0	0,5-4,0
Soyulmalar	-	Kesikli olarak kahverengi ve iyi stabilize olmuş	Devamlı olarak, kahverengi ve stabil değil	Devamlı olarak, kahverengi ve stabilitesi çok düşük
Durultucunun yüzeyel taşma hızı	m ³ /m ² .gün	40,7	32,6	40,7
BOİ giderimi (Durultucu dahil)	%	80-90	65,0-85,0	40,0-70,0

(*) Kışı yumuşak bölgeler içindir. Sıcaklığı düşük bölgelerde daha düşük yüklemeler kullanılmalıdır.

- (**) Tekrar dolaşım akışı/ham kullanılmış su akışı
 (***) Sentetik ortamlı düzensiz hızlı filtreler için

1.9.3.3.14. Havalandırmalı lagünler

Havalandırmalı lagünler atık suların direkt akış şeklinde veya çamurun geri döndürülmeksizin havalandırılarak arıtılıp biyolojik yumaklar haline getirildiği havuzlardır. Lagün derinlikleri 1 ile 4 m arasında değişir [28]. Havalandırma genellikle yüzeysel, türbin veya dağınık yayılmış havalandırma sistemleriyle yapılır. Oluşturulan hava akımı lagün muhtevasını askıda tutar. Alıkoyma zamanına göre, havalandırmalı lagün çıkış suyunun BOİ'si yaklaşık olarak %70-90 oranında giderilir. Tahliyeden önce çökeltme işlemi ile çökeltme tanklarında katı giderimi yapılabilir. Şekil 13'te bir havalandırmalı lagünün şematik şekli verilmiştir.



Şekil 13. Havalandırmalı lagün

Bir havalandırmalı lagün dizayn edilirken mühendislerin şu parametreleri göz önünde bulundurmaları gerekir.

1. BOİ giderimi
2. Çıkış suyu özellikleri
3. Sıcaklık etkileri
4. Oksijen gereksinimi

Bir lagün için tasarım demek havalandırmalı lagünün bir reaktörle tamamen karıştırılması süresince hücrelerin tutulma zamanı anlamına gelebilir. Seçilen hücre tutulma zamanı askıdaki biyolojik kütle için iyi bir çöktürme özelliği göstermesini ve temizleyerek atmayı önleyici yükseklikte olmasını sağlaması gerekir. Tipik bir hücre tutulma zamanı evsel atık sular için 3 ila 6 gün arasındadır.

Mühendisler hücre tutulma zamanından çıkış suyundaki substrat konsantrasyonunu belirleyebilirler ve aktif çamur proseslerinin dizaynında kullanılan substrat kullanım eşitliklerinden çıkış giderimini hesaplayabilirler. Alternatif olarak basit bir havalandırmalı lagün de filtrelenmiş BOİ₅ giderimi için birinci derece arıtım denklemi aşağıdaki gibi varsayılabilir.

$$S/S_0 = 1/[1+k(V/Q)] \quad (64)$$

Burada:

S = Çıkış suyundaki BOİ₅ konsantrasyonu, mg/l

S₀ = Atık su girişindeki BOİ₅ konsantrasyonu, mg/l

k = Birinci mertebe toplam BOİ₅ giderme katsayısı, (biyolojik bozunma katsayısı) gün⁻¹

V = Hacim, l

Q = Debi, l/gün

Biyolojik bozunma katsayısı olan k'nın değeri 0,25 ila 1 arasında değişir. Çıkış suyundaki en önemli özellik BOİ₅ ve çökelebilen askıdaki katı konsantrasyonudur. Mühendisler bu iki özelliği de aktif çamur çıkış suyunda kullanılan denklemlere benzer olarak hesaplayabilirler.

Eğer girişteki atık suyun sıcaklığı, ortam sıcaklığı, lagünün yüzey alanı, atık su debisi bilirse aşağıdaki eşitlik kullanılarak sonuçta oluşan sıcaklık bulunabilir[2].

$$(T_i - T_w) = [(T_w - T_a)fA]/Q \quad (65)$$

T_i = Giriş atık suyu sıcaklığı

T_w = Çıkış atık suyu sıcaklığı

T_a = Çevre sıcaklığı

f = Isı transfer katsayısı ile nem, rüzgar ve havalandırmaya bağlı olarak artan yüzey alanı etkilerini kapsayan bir orantı faktörü (tipik değeri SI biriminde 0,5 tir.)

A = Lagün yüzey alanı

Q = Atık su debisi

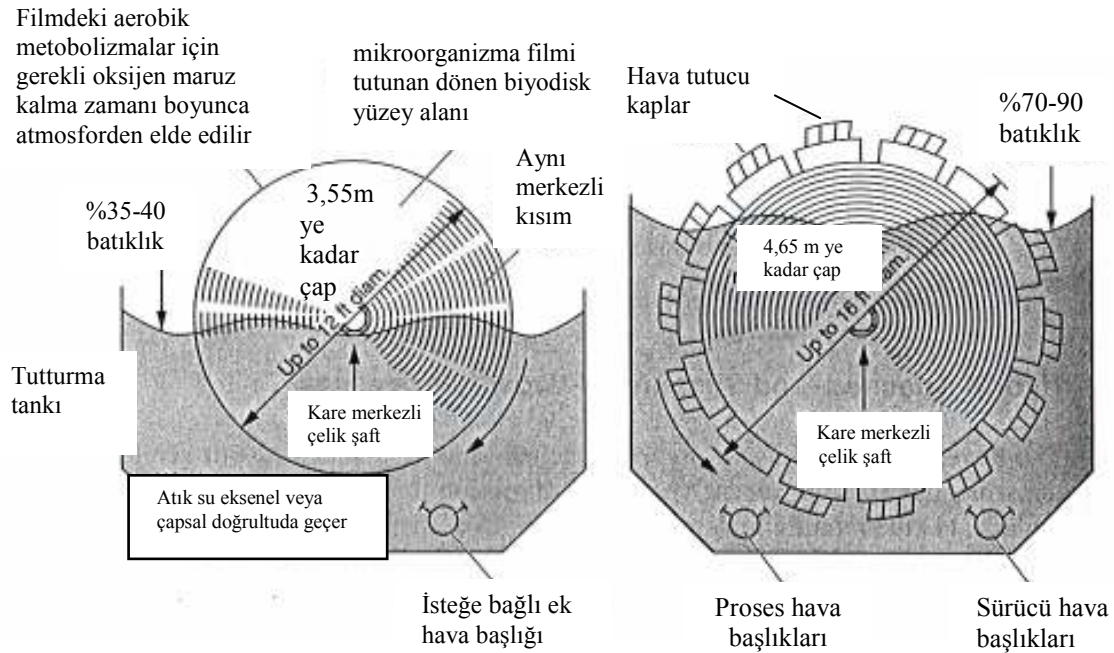
Oksijen gereksinimi aktif çamurdaki gibi hesaplanabilir [29].

1.9.3.3.15. Döner Biyolojik Diskler

Biyodiskler ilk 1960 yılında Doğu Almanya'da yapıldı ve sonra Amerika'da tanındı. 1970'lerde yüzlerce biyodisk tesisi kuruldu. Bir biyodisk, bir seri, birbirine yakın yerleştirilmiş, polisitren veya polivinil kloritten yapılmış dairesel disklerin atık su içine batırılması ve içinde döndürülmesinden ibarettir (bkz. Şekil 12). Silindirik plastik diskler yatay bir şafta bağlanır ve yaklaşık olarak 3,5m(12 ft) çapında ve 7,5m(25 ft) uzunluğunda standart birim boyutlar sağlanır. Standart olarak disklerin yüzey alanı 9300m² (100000 ft²) dir. Daha yüksek yoğunluklu diskler ile ayrıca 13900 m² (150000 ft²) lik bir yüzey alanı mümkün olmaktadır. Biyodisk birimleri, atık su içeren bir tank içine kısmen %40 oranında batırılır ve diskler yavaşça dakikada 1 ila 1,6 devir yapacak şekilde döndürülür. Normalde cihazı döndürmek için mekanik hareket ettiriciler kullanılsa da ayrıca havalı hareket ettiricilerde kullanılabilir. Havalı hareket ettiricilerde bir dizi kap diskin çevresine yerleştirilir ve yayılmış havalandırma dönmeyi sağlamak için doğrudan doğruya kaplarda kullanılır. Biyodiskler atık suyun dışında dönerken, atmosfere maruz kaldıklarından dolayı havalandırılırlar. Atık su diskler boyunca aşağı akar ve katıların çöküşü oluşur. Damlatmalı filtrele benzer olarak biyodisk sistemleri de birinci bir ön arıtma işlemi veya ince eleme ve katı-sıvı ayrımı için ikincil bir arıtım gerektirir. Batık bir biyodiskin tasarımı ile ayrıca 1980'lerin başında tanışıldı, fakat sınırlı uygulamalar görülmüştür. Suya batıklık % 70 ile 90 arasındadır ve havalı hareket ettiriciler oksijen ve dönmeyi sağlamak için kullanılırlar. Batık birimler için iddia edilen avantajlar; şaft ve yatak üzerine yüklemenin azalması, artan biyolojik kütlelerin hava çalkalaması sayesinde kontrol edilmesi, daha geniş disk demetlerinin kullanılabilmesi ve mevcut havalandırma tankları içinde onarım kolaylığıdır. Bununla birlikte sıvı içindeki oldukça düşük seviyedeki çözünmemiş oksijenden dolayı batık birimler tarafından biyolojik bozunma aktivitesi oksijenle sınırlanabilir. Yosun büyümesini önlemek plastik diskleri ultraviyole ışınların etkisinden korumak ve soğuk havalarda aşırı ısı kaybını önlemek için biyodisk cihazları örtülür.

Biyodisk tesislerinin gelişim aşamaları, mekanik tasarımların yetersiz oluşuna bağlı olarak ve biyolojik yöntemlerin tam anlamıyla anlaşılabilmiş olmamasından dolayı zorluklarla karşılaşmaktadır. Şaftlar, diskler ve diskleri destekleyen sistemlerde yapısal arızalar oluşmaktadır. Aşırı biyofilm büyümesinin gelişmesi ve çökme problemleri mekanik şaft, yatak ve diskin arızalanmasına yol açmaktadır. Bu problemlerin birçoğu geleneksel tasarım eksikliğinden ve pilot tesislerden gerçek büyüklükteki tesislere geçerkenki ölçek farklılıklarından kaynaklanmaktadır. İlk tesislerle birlikte oluşan problemlerin birçoğu çözüldü ve şimdi birçok biyodisk tesisi başarıyla işletilmektedir.

Tipik biyodisk birimleri: (a) mekanik hareket ettiricili ve isteğe bağlı hava girdili geleneksel biyodisk, (b) kapatılmış reaktör içinde geleneksel biyodisk , (c) hava tutucu kaplarla donatılmış batık-tip biyodisk (hava hem döndürme hem de biyodiskleri havalandırmak için kullanılır), ve (d) hava tutucu kaplarla donatılmış tipik batık biyodisk. Bunlardan a ve c Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Tipik biyodisk birimleri

1.9.3.3.15.1. Yöntem Planlama Değerlendirmesi

Biyodisk yöntem değerlendirmeleri ve tarif edilen damlatmalı filtreler arasında birçok benzerlik vardır. İki sistemde geniş bir biyofilm alanı geliştirir ve ham atık sudan biyofilme oksijen ve madde taşınımı esasına dayanır. Fiziksel ve hidrodinamik karakteristiklerdeki karmaşıklık biyodisk yöntemlerinin tasarımının pilot tesisler ve saha montajlarındaki temel bilgiyi esas almasını gerektirir. Damlatmalı filtrelere gelince, organik yükleme BOİ'nin giderilme verimliliğini etkiler ve minimum BOİ konsantrasyonuna varıldıktan sonra azot yüklemek de nitrifikasyon verimliliğini etkiler. Atık suyun akışının piston akışlı hidrolük rejime yaklaştığı yerde damlatmalı filtrelere zıt olarak biyodisk birimleri atık su içeren bir kazan içinde döndürülür, böylece, gruplu bir biyolojik reaktör tasarımının faydalarını artırmak için ayrı plakalı haznelere ihtiyaç duyulur. Bir biyodisk sistemin tasarımı şunlar göz önüne alınarak yapılmalıdır.

1. Biyodisk sistemlerinin gruplandırılması
2. Yükleme kriterleri
3. Atık karakteristikleri
4. İkincil arıtım tasarımları

Biyodisk için tipik bir tasarım Tablo 14'de verilmiştir.

1.9.3.3.15.2. Biyodisk Sistemlerinin Gruplandırılması

Gruplandırma bir dizi bağımsız hücrelerden oluşan biyodisklerin bölümlere ayrılması şeklinde yapılır. Kütle transferine dayanan ve daha yüksek oranda özel subsrat giderim oranı sağlayan biyolojik hareketin temeli biyodisk biyofilmlerinin içinde daha büyük hacimdeki sıvı madde konsantrasyonunda oluşacaktır. Düşük bir atık madde konsantrasyonu ve yüksek özgül subsrat giderim oranı genellikle en büyük arıtım amacı olduğundan dolayı, azalan disk alanı ihtiyaçları sadece gruplandırılmış biyodisk birimleri kullanılarak gerçekleştirilebilir.

Tipik olarak biyodisk proses uygulamaları seri halde işletilen birkaç birimi kapsar. Grup sayısı arıtmanın amacına bağlı olarak, BOİ giderimi için 2 ile 4 grup, nitrifikasyon için 4 veya daha fazla grup olabilir. Gruplar tek bir tankta paletler kullanılarak ya da seriler halinde tankları ayırıp kullanarak gerçekleştirilebilir. Gruplandırma yükseltmeleri farklı organizmaların bulunduğu yerlerde gruptan gruba çeşitli derecelerde büyür.

Tablo 14. Biyodiskler için tipik proje bilgileri.

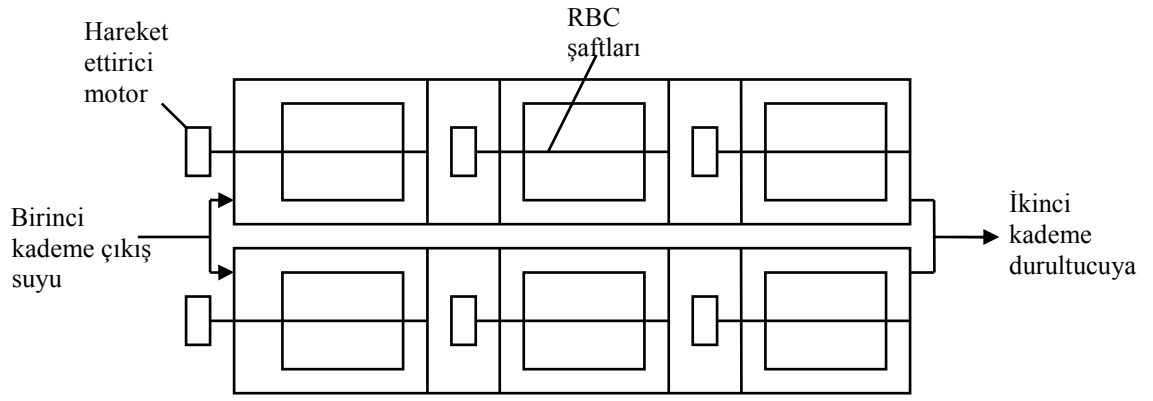
Değişkenler	Birim	Arıtım derecesi		
		BOİ giderimi	BOİ giderimi ve nitrifikasyon	Ayrı nitrifikasyon
Hidrolik yük	$m^3/m^2.d$	0,08-0,16	0,03-0,08	0,04-0,10
Organik yük	$g\ sBOİ/m^2.d$	4-10	2,5-8	0,5-1,0
	$g\ BOİ/m^2.d$	8-20	5-16	1-2
max.1.grup organik yük	$g\ sBOİ/m^2.d$	12-15	12-15	
	$g\ BOİ/m^2.d$	24-30	24-30	
NH ₃ yükü	$g\ N/m^2.d$		0,75-1,5	
Hidrolik tutma zamanı	h	0,7-1,5	1,5-4	1,2-3
Atık BOİ	mg/l	15-30	7-15	7-15
Atık NH ₄ -N	mg/l		< 2	1-2

Atık su sıcaklığı 13°C (55°F) üstünde

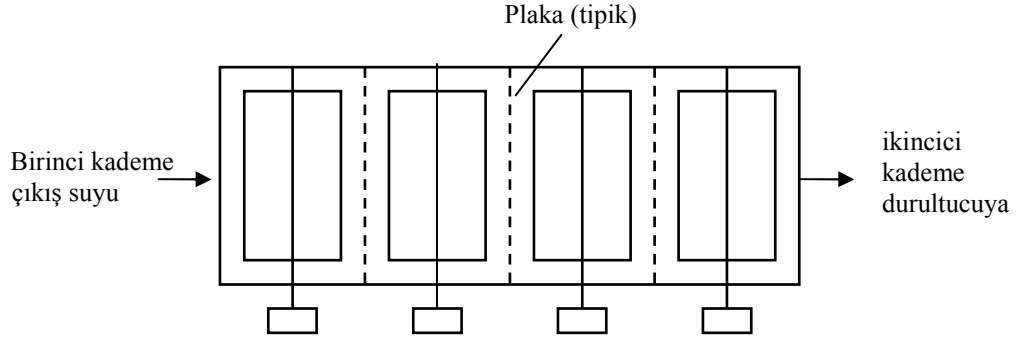
Not: $g/m^2.d \times 0,204 = lb/103\ ft^2.d$

$m^3/m^2.d \times 24,5424 = gal/ft^2.d$

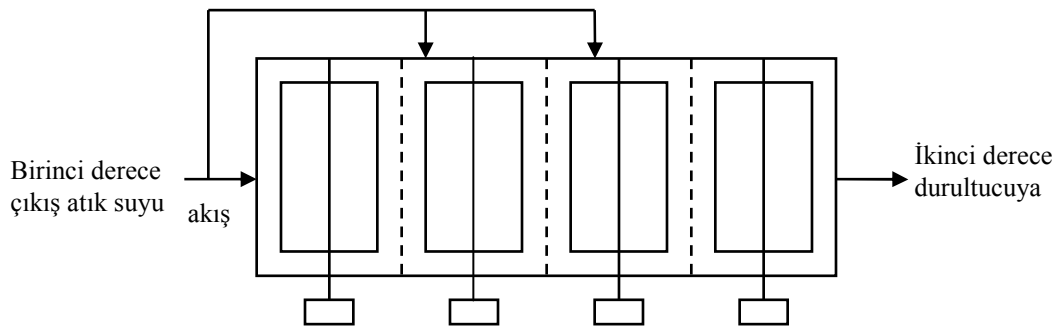
Herhangi bir gruptaki gelişmenin derecesi, öncelikle gruptaki sıvı hacmin içerdiği çözülebilir organik madde konsantrasyonuna dayanır. Atık su sistemde akarken her bir sonraki aşama bir önceki aşamaya göre daha düşük bir organik konsantrasyonlu atığa maruz kalır. Tipik biyodisk gruplandırma düzenleri Şekil 15'te gösterilmiştir. Biyodisk hareket ettirici şaft düzeneği paletler tarafından ayrılmış disk grupları ile birlikte akış doğrultusuna paralel yerleştirilir. Daha büyük tesislerde şaftlar proses denemesi yapılan seriler halinde birkaç grup ile akışa dik doğrultuda monte edilir. Başlangıçtaki birimler üzerindeki yüklemeyi kontrol etmek için kademeli artan veya konik sitemlerde belki kullanılabilir. 2 veya daha fazla paralel akış denemeleri kurulmalıdır. Böylece birimler geri dönüm veya tamir için ayrılabilirler. Tank imalatı belki küçük tesislerde, tercih edilen çelik veya betonla sağlanabilir. Arıtma sistemlerinde kullanılan biyodisk'ler BOİ giderimi, endüstriyel atıkların ön arıtımında, birleşik BOİ gideriminde ve nitrifikasyonda, üçüncül nitrifikasyonda ve denitrifikasyonda kullanılırlar. Biyodisk proseslerinin başlıca avantajları; işletme basitliği ve oldukça düşük enerji sarfiyatıdır.



(a)



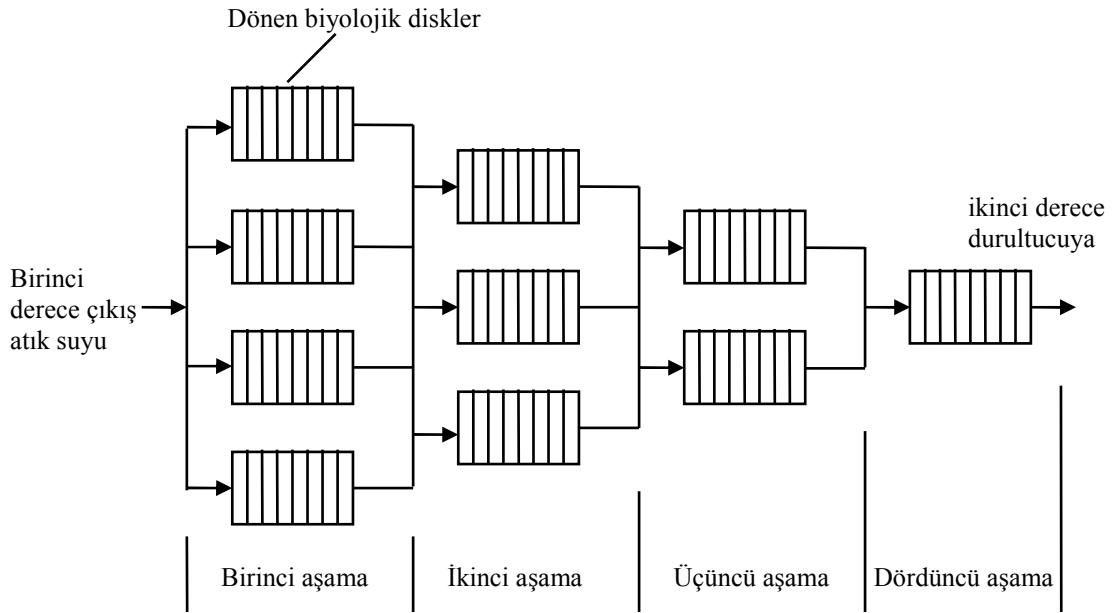
(b)



(c)

Şekil 15. Tipik biyodisk grup düzenlemeleri (a) şaftlara paralel akış, (b) şaftlara dik akış, (c) kademeli akış, ve (d) şaftlara paralel konik akış

Şekil 15'in devamı



(d)

1.9.3.3.15.3. Biyodisk Yükleme Kriterleri

Deneyimlere dayanarak, bir biyodisk sisteminin performansı toplam özgül yüzey alanı yükleme oranı ile, BOİ giderimi için çözülebilir BOİ ile, nitrifikasyon için de $\text{NH}_4\text{-N}$ ile ilişkilidir. Başarılı bir arıtım için yükleme oranı sistemin oksijen transfer kapasitesi içinde olmak zorundadır. Zayıf performanslarda, BOİ yüklemesine bağlı oksijen ihtiyacı oksijen transfer kapasitesini aştığı zaman, koku ve biyofilm çamurlaşması problemleri oluşmaktadır. Bu problemin bir özelliği, çamurlaşmayı önleyen biyofilmin dış parçası üzerindeki azalan sülfür oksitleyici bakterilerin, *Beggiatoa*'nın gelişmesidir. Kalın bir biyofilm, plastik diskler ve şaftın yapısal dayanım gerilimesi için yeterli bir ağırlık oluşturmayı artırabilir.

Aşırı yükleme altında, oksijensiz koşullar bitişik biyofilmde fazlaca gelişir. Sülfat, oksijenin bulunduğu biyofilmin dış tabakasına yayılan H_2S 'e indirgenir. H_2S ve diğer sülfür bileşiklerine indirgenebilen, ipliksi bir bakteri olan *Beggiatoa* biyofilm içinde yapışkan bir hal alır ki bu normal biyodiskün dönme koşulları altında çökmez. Biyodisk birimlerinin projelendirilmesinde, ilk birimlerin gruplandırılmış tasarımlarında aşırı yüklemeyi önlemek için düşük ve yeterli bir BOİ yüklemesi seçmek önemlidir. Koku

problemlerine daha çok ilk aşamadaki organik yüklemeler neden olmaktadır. Bir biyodisk sisteminin ilk aşamasında hızla kullanılan çözülebilir BOİ den dolayı, birçok biyodisk imalatçısı ilk aşama için 12 ile 20g sBOİ/m²gün arasında bir yükleme tayin etmişlerdir. % 50 çözülebilir BOİ kesrini farz etmek, toplam BOİ yüklemesini 24 ila 30g BOİ/m².gün arasında sınırlandırmak demektir. Yükleme kriterleri yüksek direnç atık su içeren bazı tasarımlar için çoklu biyodisk birimlerinin ilk aşamasında ya da adım adım artan biyodisk gruplarında, yarılmalardan dolayı akış ile karşılaşılır Şekil(15-c).

Nitrifikasyon için, biyodisk sistemlerinin tasarım yaklaşımı, biyodisk birimlerinin önceki nitrifikasyonunda çözülebilir BOİ konsantrasyonu miktarının azaltılmasından sonra, üçüncü nitrifikasyon da arıtma filtreleri için gösterilenle benzer olabilmektedir. Biyodisk diskleri üzerinde önemli bir nitratlaşma popülasyonu geliştirilmeden önce 15 mg/l den daha az konsantrasyonlu bir sBOİ ile karşılaşılacak zorundadır. Yüzey alanındaki maksimum nitrojen giderim oranı, damlatmalı filtrelerde gözlemlenen değere epey benzer olarak yaklaşık 1,5 N/m².gün olarak gözlemlenmektedir.

1.9.3.3.15.4. Atık Karakteristikleri

Biyodisklerle arıtım sistemleri, ikinci veya ileri derecede arıtım sağlamak için tasarlanabilirler. İkinci derece arıtım için atık BOİ karakteristikleri iyi işletilmiş aktif çamur prosesleriyle karşılaştırılabilir. Nitratlı bir çıkış atık suyuna ihtiyaç duyulduğunda biyodiskler, BOİ ve amonyak nitrojen için birleşik arıtma sağlamakta ya da ikinci kademe atık suların ayrı nitrifikasyonunu sağlamakta kullanılabilirler. Şaft tarafından desteklenen tamamen batık disklerde bir biyodisk yöntem değişikliği, atık suyun denitrifikasyonu için kullanılabilir.

1.9.3.3.15.5. Biyodisk Prosesleri İçin Fiziksel Araçlar

Bir biyodisk tesisinin başlıca elemanları ve onların proses içindeki önemleri aşağıda belirtilmiştir. Biyodisk ekipmanlarını sağlayan firmalar, disk tasarımlarına, şaftlara ve paketleme desteklerine ve şekil tasarımlarına göre farklılık göstermektedirler. Bir biyodisk sisteminin başlıca elemanları, şaft, disk şekil ve malzemeleri, hareket sistemleri, korumalar ve çökeltme tanklarıdır.

1.9.3.3.15.6. Şaftlar

Biyodisk şaftları plastik diskleri desteklemek ve döndürmek için kullanılırlar. Maksimum şaft uzunluğu şaftı dolduran diskler tarafından 8,23 m ile 7,62 m arasında sınırlandırılmıştır. Ayrıca 1,52 m den 7,62 m ye mesafelendirilmiş daha kısa şaft uzunlukları da mümkündür. Şaft şekilleri imalatçıya göre kare, daire, sekizgen şeklinde olabilir. Çelik şaftlar korozyona karşı korumak için 13 mm den 30 mm ye kadar kalınlıkta kaplanırlar. Yapısal detaylar ve disk şaftlarının ömür beklentisi tasarım hususunda önemlidir.

1.9.3.3.15.7. Disk Malzemeleri

Oluklu (yiv) modelleri veya farklı konfigürasyonları da mümkün olan biyodisk imalatı için yaygın olarak yüksek yoğunlukta polietilen kullanılır. Yivler yüzey alanını artırır ve yapısal dayanımı büyütür. Şaft üzerindeki disklerin toplam alanına dayanarak sınıflandırılmış biyodisk tipleri genellikle düşük (veya standart) yoğunluklu, orta yoğunluklu ve yüksek yoğunluklu olarak adlandırılırlar. Her 8,23 m lik (27 ft) şaft başına 9300 m² (100000 ft²) yüzey alanı ile tanımlanan standart yoğunluklu diskler, diskler arasında daha geniş bir yere sahiptir ve normalde bir biyodisk prosesi akış diyagramının aşamalarına da öncülük etmek için kullanılır. Orta ve yüksek yoğunluklu disk takımları her 8,23 m lik (27 ft) şaft başına 11000 den 16700 m² ye (120000 to 180000 ft²) kadar yüzey alanına sahiptirler ve tipik olarak ortada ve daha ince biyolojik büyümenin olduğu son gruplarda kullanılırlar.

1.9.3.3.15.8. Hareketi Sağlayan Sistemler

Biyodisk birimlerinin çoğu merkezi bir şafta direkt bağlı doğrudan mekanik hareket ettirici birimler tarafından döndürülür. Motorlar tipik olarak şaft başına 3,7 veya 5,6 kw oranındadır. Ayrıca havalı hareket düzenekleri kullanılabilir. Havalı hareket düzenek grupları diskin çevresine bağlı derin plastik kaplar, disklerin altına yerleştirilmiş hava başlıkları ve hava kompresörlerinden oluşurlar. Proje dönme hızını gerçekleştirmek için standart yoğunluklu bir şaft için dakikada 5,3 m³ yüksek yoğunluklu için 7,6 m³ hava akımı gereklidir. Kapların içine hava verilmesi şaftların dönmesine sebep olan bir kuvvet

oluşturmaktadır. Her iki sistemde de mekanik güvenilirlik sağlanmaktadır. Çeşitli hız miktarları şaft dönme hızını düzenlemek için sağlanabilir.

1.9.3.3.15.9. Depolama

Biyodisk sistemleri için depolama en uygun şekilde, 9300 m² disk alanlı bir şaft için 45 m³ lük bir grup değeri ile sonuçlanan disk alanının 0,0049 m³/m² si olarak kullanılmaktadır. Bu değere dayanarak 1,44 saatlik bir tutma zamanı 0,08 m³/m².gün lük bir hidrolik yükleme için şart koşulmaktadır. Tipik bir kıyı suyu derinliği, disklerin %40 lık kısmının batıklığını sağlamak için 1,5 m'dir.

1.9.3.3.15.10. Korumalar

Plastik kaplamalarla güçlendirilmiş bölünmüş fiberglaslar (cam elyaf) her şaftın üzerine konurlar. Bazı durumlarda teçhizatlar soğuk havaya karşı korumak, yer açmak veya estetik sebepler için bir yapıya yerleştirilirler. Plastik diskleri ultraviyole ışıklara bağlı bozulmalardan korumak, prosesi düşük sıcaklıktan korumak, diskleri ve malzemeleri hasardan korumak ve prostedeki alglerin büyümesini kontrol etmek için biyodisklerin çevresi sarılır.

1.9.3.3.15.11. Çökeltme Tankları

Bütün çamurlar çökeltme tankından çamur yapma vasıtasıyla uzaklaştırıldığından biyodiskler için çökeltme tankları damlatmalı filtrelerin çökeltme tankları ile benzerdir.

1.9.3.3.15.12. Biyodisk Yöntem Tasarımı

Biyodisk sistemleri için ampirik tasarım yaklaşımları, pilot tesisler ve tam ölçekli tesis verilerine dayanarak gelişmektedir ve disk yüzey alanı ve disk alanına göre özgül yüklemeler gibi temel faktörler dikkate alınmaktadır.

1.9.3.3.15.13. BOİ Giderimi

Biyodisk sistemlerinde BOİ giderimi için tasarım modelleri WEF'de (2000) değerlendirilmektedir. Bir proje karşılaştırmasında, genellikle modeller imalatçıların literatüründen belirlenenden daha düşük önerilen BOİ yüklemesi ile sonuçlanmaktadır ve bazı durumlarda BOİ giderimine benzer olarak % 90 nın altında olmaktadır. Bunların, bir 2. derece arıtım modeli Opatken (U.S EPA 1985) tarafından biyodisk yüzey alanı ihtiyaçlarının hesaplanması için, gruplu reaktör tasarımı da içeren 9 tam ölçekli tesisten alınan veriler ile geliştirilen bir model olarak seçildi.

2. derece arıtım modeli Grady tarafından SI birim sistemine çevrildi (1999) ve terimler disk yüzey alanının hesaplanması için dönüştürüldü. Model her gruptaki çözülebilir BOİ konsantrasyonunu hesaplamada kullanılabilir.

$$S_n = \frac{-1 + \sqrt{1 + (4)(0.00974)(A_s/Q)S_{n-1}}}{(2)(0.00974)(A_s/Q)} \quad (66)$$

S_n = grup n deki sBOİ konsantrasyonu, mg/l veya g/m³

A_s = grup n üzerindeki disk yüzey alanı, m²

Q = debi, m³/gün

Örneğin sadece sBOİ konsantrasyonlarına uygulanmasından dolayı, çıkış suyundaki BOİ konsantrasyonu için ikincil durultucudaki çıkış suyu sBOİ/BOİ oranının 0,50 si varsayılabilir. Benzer olarak biyodisk sistemini besleyen birincil atık için sBOİ konsantrasyon verileri olmadan, bir sBOİ/BOİ oranının 0,50 si ile 0,75 i arasında varsayılabilir. Tasarım sBOİ'ye dayandığından dolayı, (66) eşitliğinden elde edilen çıkış suyu sBOİ konsantrasyonunu ve 1. grup disk alanını belirlemek için, 2. grup biyodisk birimindeki çözülebilir organik yük oranı 12 ile 15 g sBOİ/m².gün'e eşit veya bu değerden daha az olmalıdır. BOİ giderimi için bir biyodisk sistemin boyutlandırmasında kullanılan hesap yöntem prosedürü Tablo15 de özetlenmiştir [7].

Tablo 15. Biyodisk proses tasarımları için hesap prosedürleri

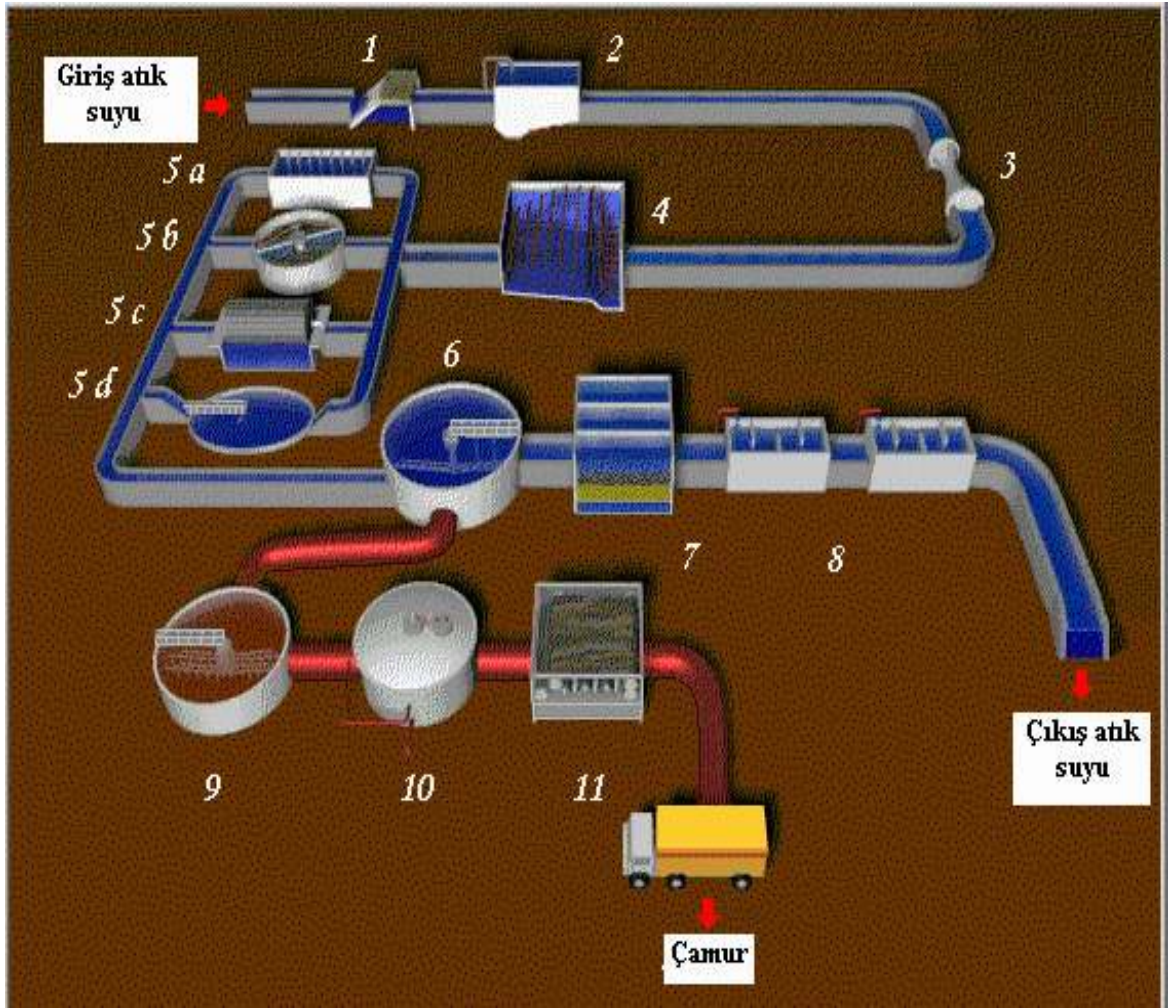
Madde	Tanım
1	Atık sBOİ konsantrasyonlarının ve atık su debisinin belirlenmesi
2	Maksimum. bir sBOİ nin 12 ile 15 g sBOİ/m ² .gün olduğuna dayanarak 1. grup için disk alanının belirlenmesi
3	9300 m ² /şaft lık standart bir disk yoğunluğu kullanarak biyodisk şaftlarının sayısının belirlenmesi
4	Tasarım için ünitelerin sayısının, her üniteye gelen debinin, grup sayısının ve her gruptaki disk alanı/şaft oranının seçilmesi. Daha düşük yüklü gruplar için daha yüksek disk yoğunlukları kullanılabilir.
5	İkincil arıtım tasarımını geliştirin

Tablo 16 da ise arıtma sistemlerinin verimleri ve işletme özellikleri verilmiştir.

Tablo 16. Arıtma sistemlerinin verimleri ve işletme özellikleri [8].

Parametre	Klasik Aktif Çamur Sistemi	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur Sistemi	Damlatmalı Filtre	Fakültatif Havalandırmalı Havuz	Stabilizasyon Havuzu	Biyodisk
BOİ giderme verimi,%	85-93	95-98	65-95	70-90	70-90	85-94
Azot giderme verimi, %	30-40	15-30	-	-	40-50	-
Fosfor giderme verimi,%	35-45	10-20	-	-	20-60	-
Koliform giderme verimi, %	60-90	60-90	-	60-90	50-99,9	-
Arazi ihtiyacı, m ³ /kişi						
Sıcak iklim	0,16-0,20	0,25-	-	0,15-0,45	1,0-2,8	< 0,1
Ilıman iklim	0,20-0,40	0,35	-	0,45-1,00	3,0-12	< 0,1
Enerji ihtiyacı, Kw-st/Nt.yıl	8-17	13-20	-	12-15	yok	6-12
Çamur tasfiye şekli	Çamur çürütme yatakları, mekanik teçhizat	Kurutma yatakları	Çürütme, Kurutma yatakları	5-10 yılda bir defa çamur uzaklaştırma	5-10 yılda bir defa çamur uzaklaştırma	-
Lüzumlu alet ve teçhizat ihtiyacı	Havalandırıcı, geri devir pompası, sıyrıcı, çamur çürütücü, gaz toplama tertibatı	Havalandırıcı, geri devir pompası	Geri devir pompası, sıyrıcı, yoğunlaştırıcı, çürütücü ve gaz toplama tertibatı	Havalandırıcı	-	Geri devir pompası, sıyrıcı, yoğunlaştırıcı ve çürütücü
İşletme	Yetişmiş eleman	Daha az yetişmiş eleman	Yetişmiş eleman	Basit	Basit	Basit

Şekil 16 da bir atık su arıtma tesisinin 3 boyutlu genel görünüşü verilmektedir.



Şekil 16. Bir atık su arıtma tesisinin 3 boyutlu genel görünüşü [28].

- | | |
|-----|-------------------------------------|
| 1 | İnce elekler |
| 2 | Izgaralar |
| 3 | Debi metre |
| 4 | Birincil çökeltme haznesi |
| 5 a | Aktif çamur yöntemi |
| 5 b | Damlatmalı filtreler |
| 5 c | Dönen biyolojik diskler |
| 5 d | Oksidasyon hendekleri |
| 6 | İkincil çökeltme tankı(durultucu) |
| 7 | Kum tutucular |
| 8 | Klor temas tankı |
| 9 | Çökeltme tankı |
| 10 | Oksijensiz çökeltme(sindirir) tankı |
| 11 | Çamur kurutma ünitesi |

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, respirometrik ve sulandırılmış BOİ ölçümlerinin (Berkün, 1974) verileri kullanılmıştır. Ayrıca bu ölçümler kullanılarak hesaplanmış olan toplam biyokimyasal oksijen ihtiyacı ve reaksiyon hız sabiti (Nas, 2000) değerleri, bu yöntemlerden biri olarak verilen seriler metodundan (Berkün, 1974) elde edilen BOİ (L) ve k değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen BOİ değerleriyle atık su arıtma tesislerinin ayrıntılı tasarımları (aktif çamur, havalandırmalı lagün, biyodisk) yapılmış ve sonuçlar tablolar ve şekiller halinde verilmiştir. Hesaplamalarda C++ programlama dili kullanılmıştır.

2.1. Materyal ve Metot

Bu çalışma da hesaplamalar C++ programlama dili kullanılarak yapılmıştır. C++ bilindiği gibi programlama dünyasında en çok ilgi gören C dilinden türemiştir. C++'ı klasik C dilinden farklı yapan Nesne Yönelimli Programlamayı da (Object Oriented Programming) C'nin sözdizimi kurallarıyla birlikte desteklemesidir. Normalde C ile sadece yapısal programlama yaparken C++ dili ile hem yapısal hem de nesne yönelimli programlar yazabilirsiniz. C++ diline başlarken önce dilin C'den gelen ve temel olan özelliklerini öğrenmek gerekir. Örneğin, değişken tanımlama, atama ve diğer basit aritmetik işlemler, kontrol yapıları ve döngüler gibi. Teknolojinin ulaştığı son noktadaki programlama dillerinden olan C ve C++, birçok yeni ve güçlü özellikleri içerir. Bir problemi bilgisayar ile çözmek için geliştireceğimiz programın yazımında izleyeceğimiz adımlar:

I) Problemin ne olduğunu kavra, çözüm için gereksinimleri belirle.

II) Problemin girdilerini, çıktılarını ve diğer kısıtlama ve gereksinimleri belirle (bilgilerin giriş ve çıkış biçimlerinin nasıl olacağına kadar).

III) Problemin çözümünü veren algoritmayı yaz.

IV) Algoritmayı bir programla dili ile yaz.

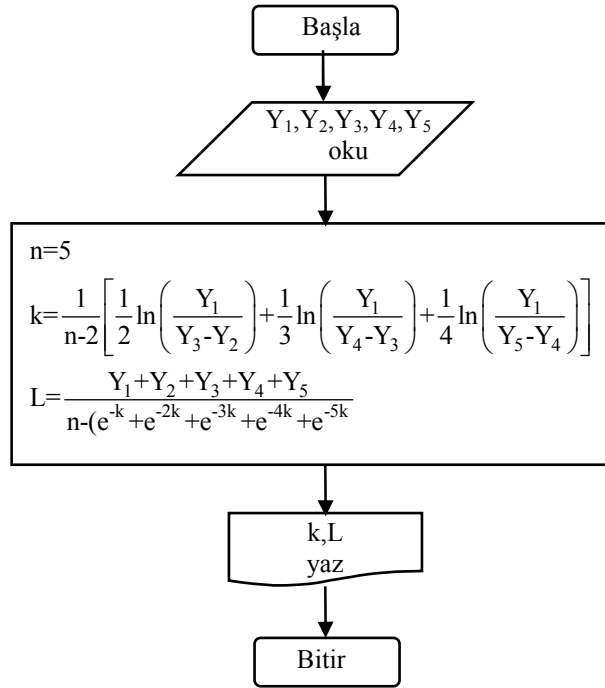
V) Programın doğru çalışıp çalışmadığını test et. Bu testi değişik veriler (girdiler) için tekrarla.

2.2. Seriler Metodu İle Toplam BOİ ve Reaksiyon Hız Sabitinin Hesaplanması

Seriler metodu için BOİ (L) ve k değerlerinin hesaplanması aşağıda verilmiştir. Hesaplamalarda C++ programlama dili kullanılmıştır. Seriler metodu mevcut metotlara nispetle hesapta kolaylık ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. L'nin hesabı için momentler metodunda verilen (39) nolu denklem k'nın hesabı için ise (49) nolu denklem kullanılabilir.

2.2.1. C++ da Seriler Metoduyla Reaksiyon Hız Sabiti ve Toplam BOİ Hesabı İçin Akış diyagramı

C++ da seriler metodu için k ve L hesabı Şekil 17'deki akış diyagramı kullanılarak yapılmıştır. Program ekler kısmında verilmiştir.



Şekil 17. Seriler metodu ile k ve L hesabı için akış diyagramı.

2.3. Aktif Çamur Tesislerinin Boyutlandırılması

Genel olarak bütün arıtma üniteleri gibi, aktif çamur sistemleri de, çok yüklü (yüksek hızlı) veya az yüklü (düşük hızlı) olmak üzere iki şekilde çalıştırılabilir. Yüksek hızlı tesislerde kısmi arıtma, düşük hızlı tesislerde ise tam arıtma elde edilir. Kısmi arıtmanın verimi % 80'den küçük ve çıkış suyunun BOİ₅ değeri 30 mg/l den büyük olur. Az yüklü aktif çamur sistemlerinde ise çıkış suyu BOİ₅ değeri 20 mg/l'nin altında ve biyolojik verim % 90 veya bu değerlerin üstünde olabilir.

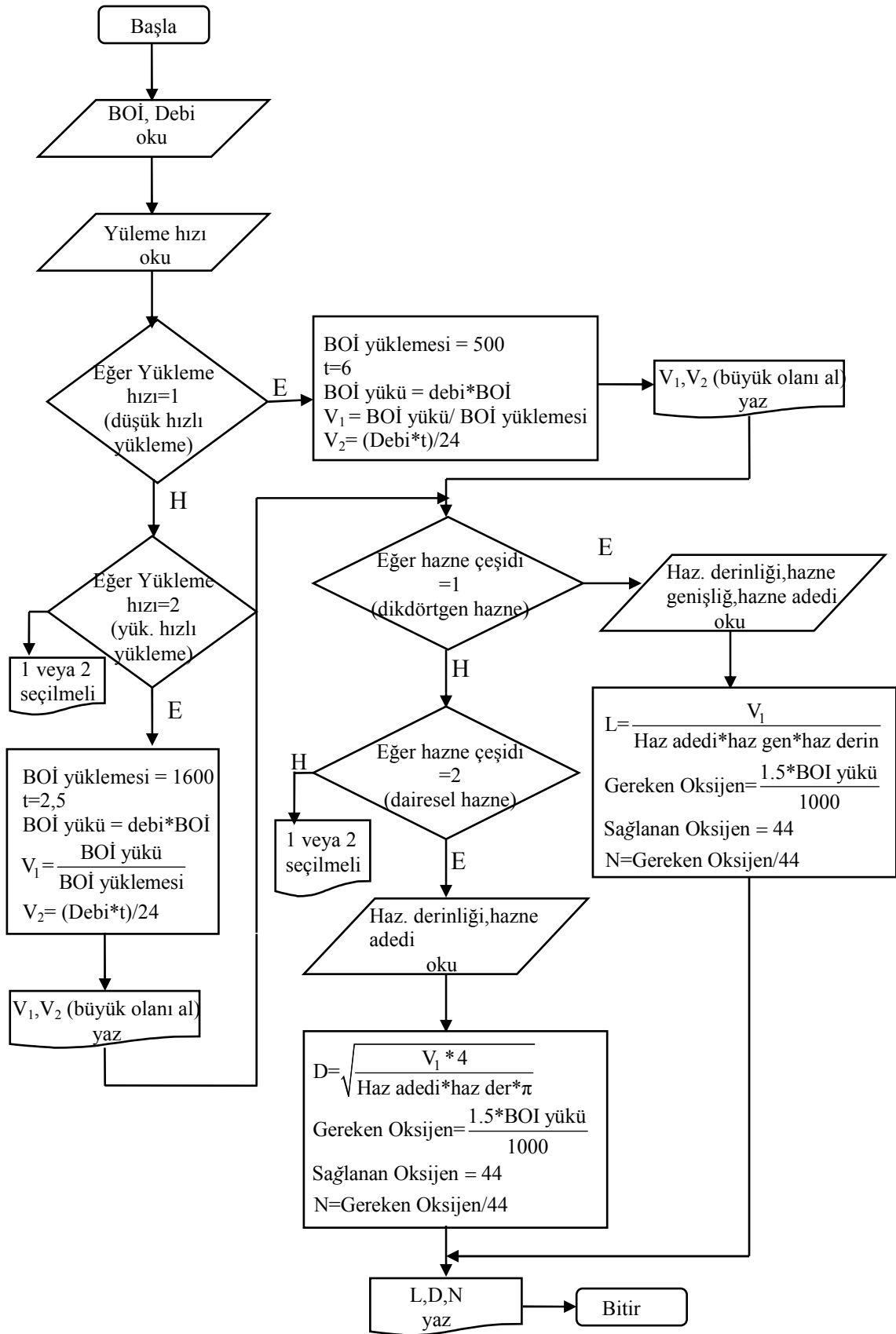
Bu çalışmada aktif çamur üniteleri bir düşük hızlı ve 6 saat havalandırma süreli, birde yüksek hızlı ve 2,5 saat havalandırma süreli olarak boyutlandırılmıştır. Hazne biçimi olarak hem dikdörtgen hem de dairesel hazneye göre hesap yapılmıştır. Hazne derinliği 5 m, hazne genişliği 10 m olan 10 adet hazne kullanıldığında hazne uzunluğunun ne kadar olacağı hesaplanmıştır. Atık su debisi olarak Trabzon ili örnek alınmış ve bu değer 35000 m³/gün olarak hesaplara katılmıştır. Havalandırma için gereken oksijen miktarı bulunarak bu oksijeni sıkıştırarak gerekli kompresör gücü hesaplanmıştır. Hesaplamalarda yardımcı olması amacıyla C++ programlama dilinde küçük programlar yazılmış ve sonuçlar bu programlarla hesaplanmıştır.

2.3.1. C++ da Aktif Çamur Tesislerinin Tasarımı İçin Akış Diyagramı

Aktif çamur tesisinin tasarımı için Şekil 18'deki akış diyagramı kullanılmış ve bu diyagrama göre de program yazılmıştır. Program ekler kısmında verilmiştir.

Programda BOİ ve debi değerlerini girdikten sonra, yükleme hızı seçilir. Eğer yükleme hızı 1 seçilirse tesis düşük hızlı olarak boyutlandırılmış olur. BOİ yüklemesi ve zaman düşük hızlı yükleme olduğu için ilgili değerleri alır ve bu değerlere göre BOİ yükü, V₁ ve V₂ hazne hacimleri hesaplanır. Çıkan V₁ ve V₂ sonuçlarından büyük olanı alınır. Bu adımdan sonra hazne çeşidinin seçimi gelir. Eğer hazne çeşidi 1 seçilirse dikdörtgen hazne için hesap yapılmış olunur. Buna göre istenilen hazne derinliği, hazne genişliği ve hazne adedi sayısı girilir. Girilen bu değerlere göre hazne uzunluğu (L) , gereken oksijen miktarı, sağlanan oksijen miktarı ve kompresörün bu oksijeni basması için gereken kompresör gücü (N) hesaplanır.

Yükleme hızı 2 seçilirse aynı işlemler bu sefer yüksek hızlı yükleme için tekrar ilgili değerlere göre tekrar edilir. Hazne çeşidi 2 seçilirse hazne çeşidi dairesel olmuş olur ve hazne derinliği ve hazne adedi girildikten sonra hazne çapı programdan hesaplanır.

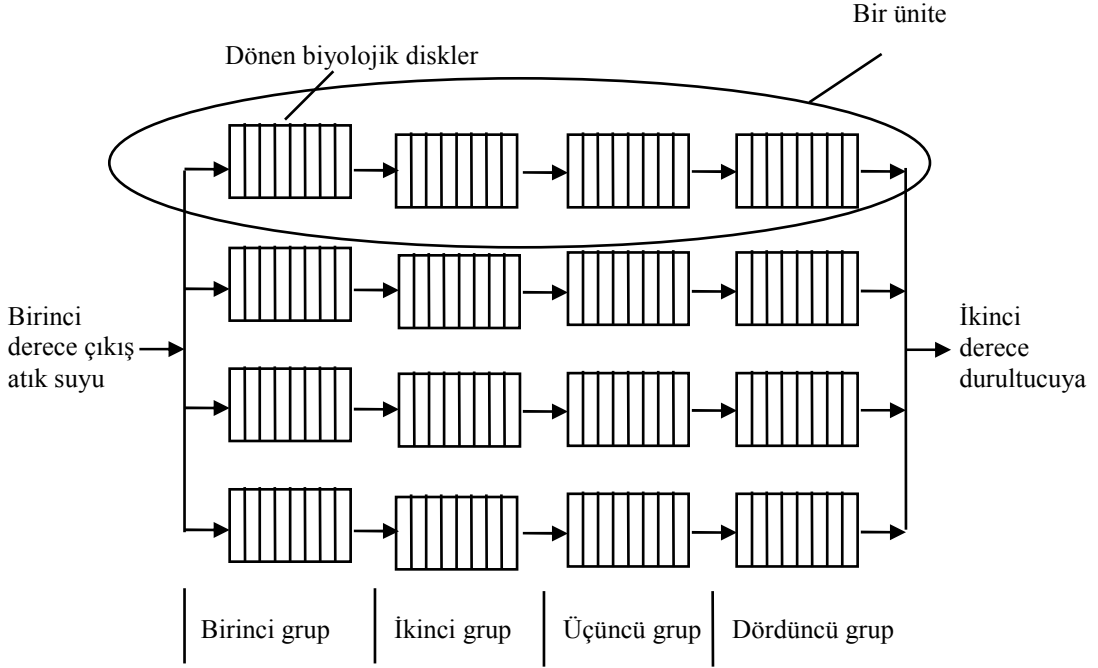


Şekil 18. Aktif çamur tesislerinin tasarımı için akış diyagramı

2.4. Biyodisk tesislerinin boyutlandırılması

Biyodisk tesisleri gelen debi ve BOİ yüküne göre boyutlandırılmıştır. Boyutlandırmada izlenen adımlar daha önce Tablo 15’te verilmişti.

35000 m³/günlük debi ve BOİ yükleri göz önüne alınarak 16700 m²/şaftlık yüzey alanlı orta ve yüksek yoğunluklu bir disk kullanımı uygun görülmüştür. Grup sayısı belirlenirken, 1. grupta max. sBOİ =15 g/m² gün olarak varsayılmış ve son gruptaki sBOİ konsantrasyonunun 10 g/m³ ten küçük olduğunda tasarımın yeterli olduğu kabul edilerek tasarım yapılmıştır. Yine debinin büyüklüğüne ve BOİ yüküne göre ünite sayısı seçilmiştir. Boyutlandırmada Denklem (66)’daki formülasyonlardan yararlanılmıştır. Tasarımın şematik gösterimi Şekil 19’daki gibidir. Tasarım için C++ programlama dili kullanılmıştır.



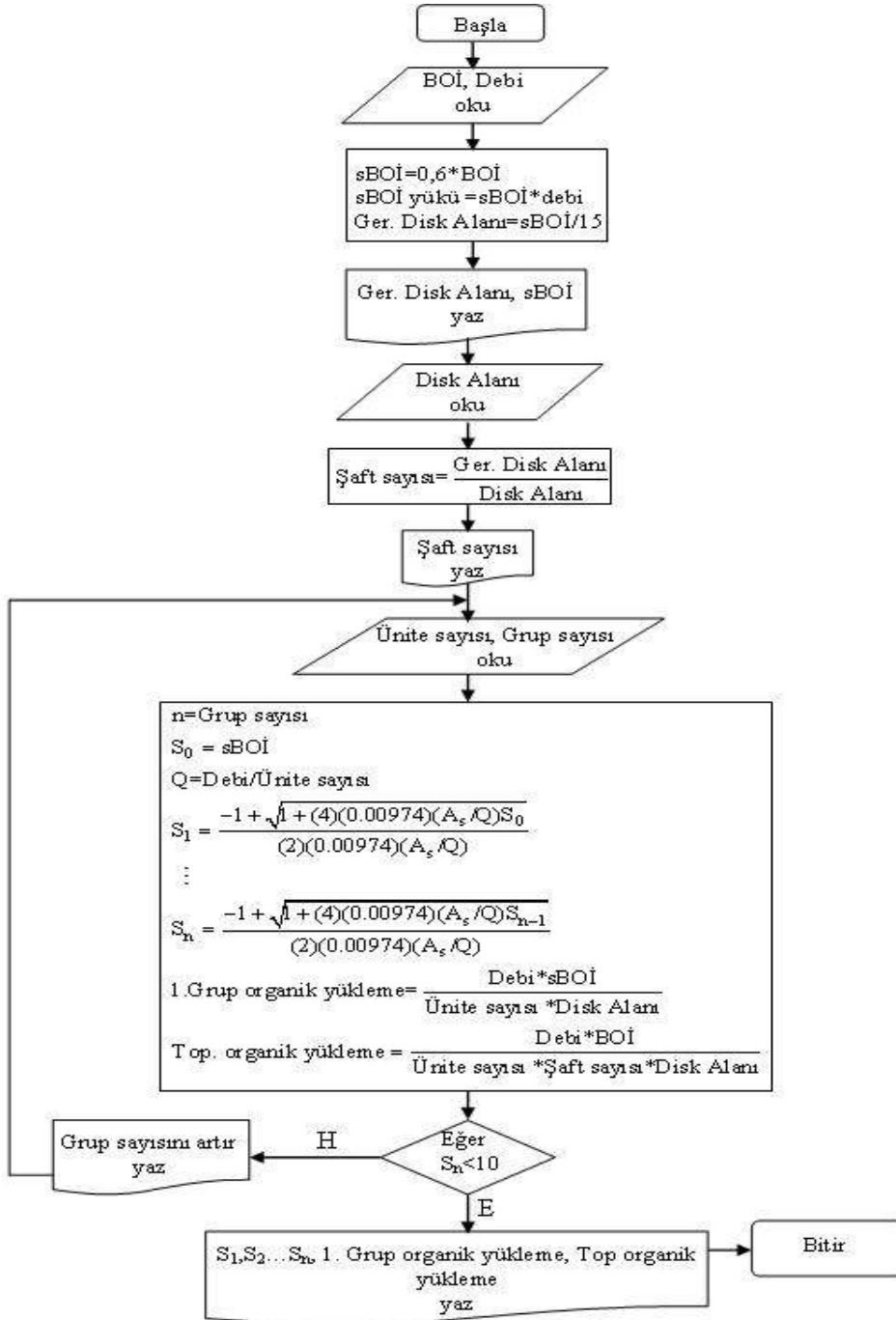
Şekil 19. 4 üniteli, 4 gruplu bir biyodisk sistemi

2.4.1. C++ da Biyodisk Tesisinin Tasarımı İçin Akış diyagramı ve Program

Biyodiskinin tasarımı için Şekil 20’deki akış diyagramı kullanılmış ve bu diyagrama göre de program yazılmıştır. Program ekler kısmında verilmiştir.

Programda öncelikle BOİ ve debi değerleri girilir. Bu değerlere göre çözünebilir biyokimyasal oksijen ihtiyacı (sBOİ), sBOİ yükü ve gereken disk alanı ilgili formülasyonlardan hesaplanır. Tasarım için disk alanı seçilir. Seçilen bu disk alanına göre

şaft sayısı belirlenir. Ünite sayısı ve grup sayısı girilir. Girilen bu değerlere göre son gruptaki S değeri (BOİ konsantrasyonu) hesaplanır. Eğer bu değer 10 mg/l'nin altında ise tasarım yeterlidir ve 1. gruptaki organik yükleme ile toplam organik yükleme hesaplandıktan sonra tasarım tamamlanmış olur. Eğer son gruptaki S değeri 10 mg/l'den büyükse geri dönülür ve grup sayısı artırılır.



Şekil 20. Biyodisk tesisinin tasarımı için akış diyagramı

2.5. Havalandırmalı lagünlerin boyutlandırılması

Havalandırmalı lagünlerin tasarımında genel hatlarıyla 6 faktör dikkate alınmalıdır. Organik yükleme hızı, hidrolik yükleme hızı, çıkış suyu özellikleri, oksijen ihtiyacı, karışım, sıcaklık ve katıların çökeltimi.

Mekanik havalandırmalı lagünlerin boyutlandırılmasında aşağıdaki formülasyonlardan yararlanılmıştır. Hesaplamalar C++ programlama dilinde yapılmıştır.

$$t = \frac{S_0 - S}{S \cdot K_T} \quad (67)$$

$$V = t \cdot Q \quad (68)$$

K_T sıcaklığa ve atık suyun cinsine bağlı olarak aşağıdaki formülden hesaplanabilir

$$K_{T(^{\circ}C)} = K_{20(^{\circ}C)} \cdot \gamma^{T-20} \quad (69)$$

Buna göre 20 °C için $K_{T(^{\circ}C)} = K_{20(^{\circ}C)}$ olmaktadır. ($\gamma = 1,085$ ve $K_{20^{\circ}C} = 1,20 \text{ gün}^{-1}$)

S_0 = giriş BOİ değeri, g/m^3

S = çıkış BOİ değeri, g/m^3

K_T = birinci mertebe toplam BOİ₅ giderme katsayısı, (biyolojik bozunma katsayısı), gün^{-1}
(0,3-3 arasında değişir)

V = hazne hacmi, m^3

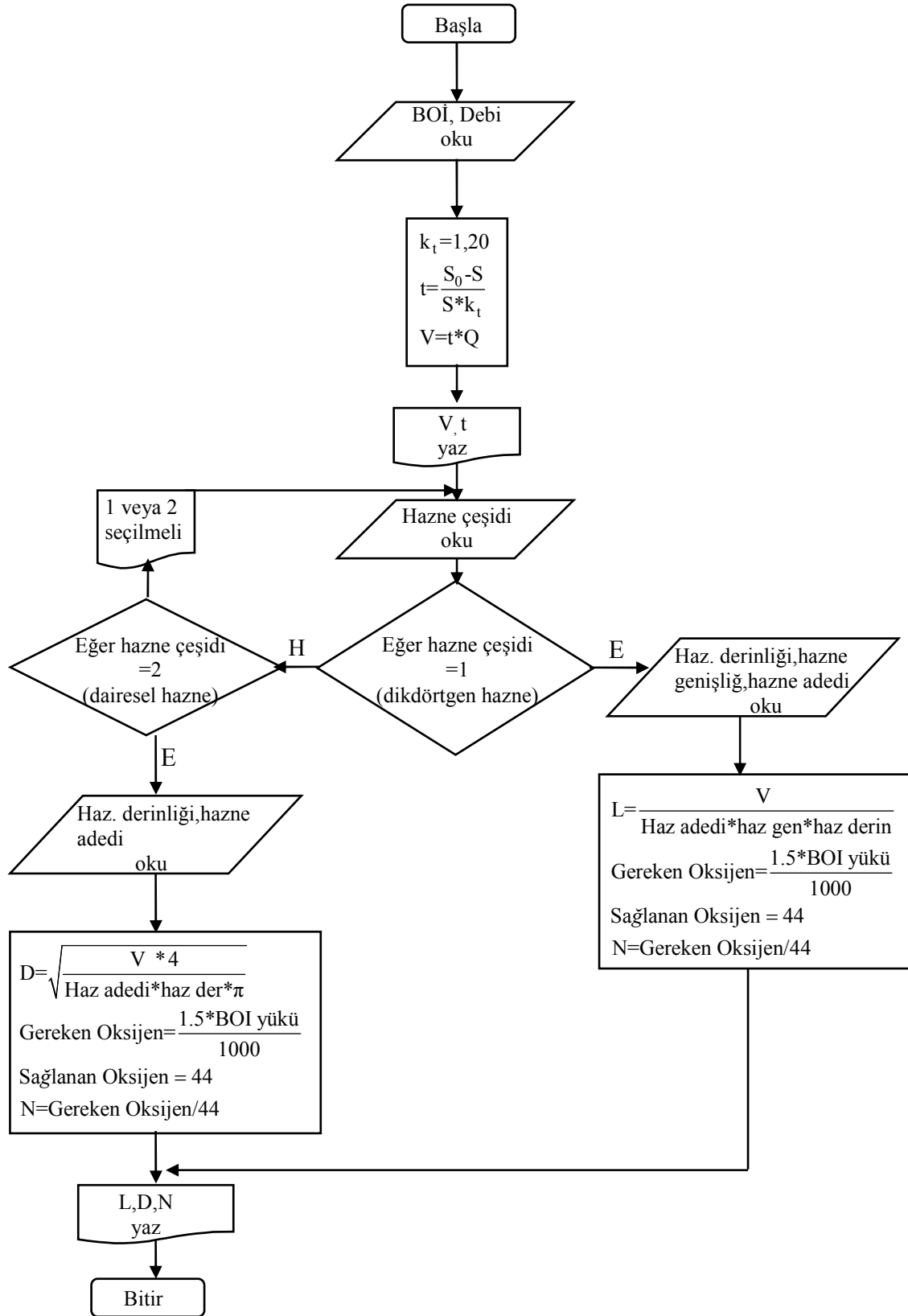
t = haznede tutulma süresi, gün

Q = debi, $\text{m}^3/\text{gün}$

2.5.1. C++ da Mekanik Havalandırmalı Lagün Tasarımı İçin Program

Mekanik havalandırmalı lagünün tasarımı için Şekil 21'deki akış diyagramı kullanılmıştır. Bilgisayar programı ekler kısmında verilmiştir.

Programda BOİ ve debi değerleri girildikten sonra t ve V değerleri hesaplanır. Diğer adımlar aktif çamur hazne tasarımı ile benzerdir.



Şekil 21. Mekanik havalandırmalı lagün tasarımı için akış diyagramı

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. C++ da Seriler Methodu İçin Programın Koşturulması

Bölüm 2.2.1. de verilen akış diyagramına göre program koşturulmuş ve elde edilen sonuçlar Tablo 17 ve Tablo 18’de verilmiştir. Programın ayrıntılı şekilde koşturulması sadece respirometrik 1 numunesi için Şekil 22’de görülmektedir. Diğer numuneler için sadece sonuçlar verilmiştir.

$$Y_1 = g/m^3 \text{ (1 günlük BOİ değeri)}$$

$$Y_2 = g/m^3 \text{ (2 günlük BOİ değeri)}$$

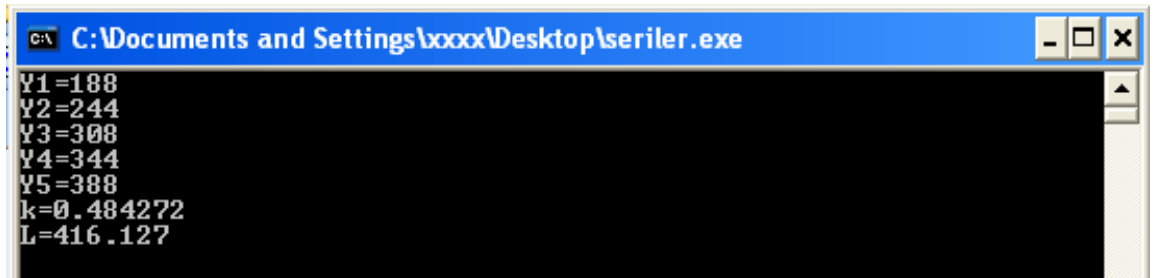
$$Y_3 = g/m^3 \text{ (3 günlük BOİ değeri)}$$

$$Y_4 = g/m^3 \text{ (4 günlük BOİ değeri)}$$

$$Y_5 = g/m^3 \text{ (5 günlük BOİ değeri)}$$

$$k = \text{gün}^{-1} \text{ (reaksiyon hız sabiti)}$$

$$L = g/m^3 \text{ (toplam BOİ)}$$



```
C:\Documents and Settings\sooo\Desktop\seriler.exe
Y1=188
Y2=244
Y3=308
Y4=344
Y5=388
k=0.484272
L=416.127
```

Şekil 22. Seriler metodu için k ve L değerleri

3.2. Respirometrik ve Sulandırılmış Yöntemle Bulunan BOİ değerlerinin Verilen Metotlar Kullanılarak Hesaplanan Toplam BOİ ve Reaksiyon Hız Sabiti Değerleri (k, gün⁻¹ ve L, g/m³)

Respirometrik ve sulandırılmış yöntemle bulunan BOİ verileri (Berkün, 1974) kullanılarak grafik, en küçük kareler, moment, log farklılıklar ve seriler metotlarıyla bulunan BOİ (L) ve k değerleri Tablo 18 ve Tablo 19’da verilmiştir.

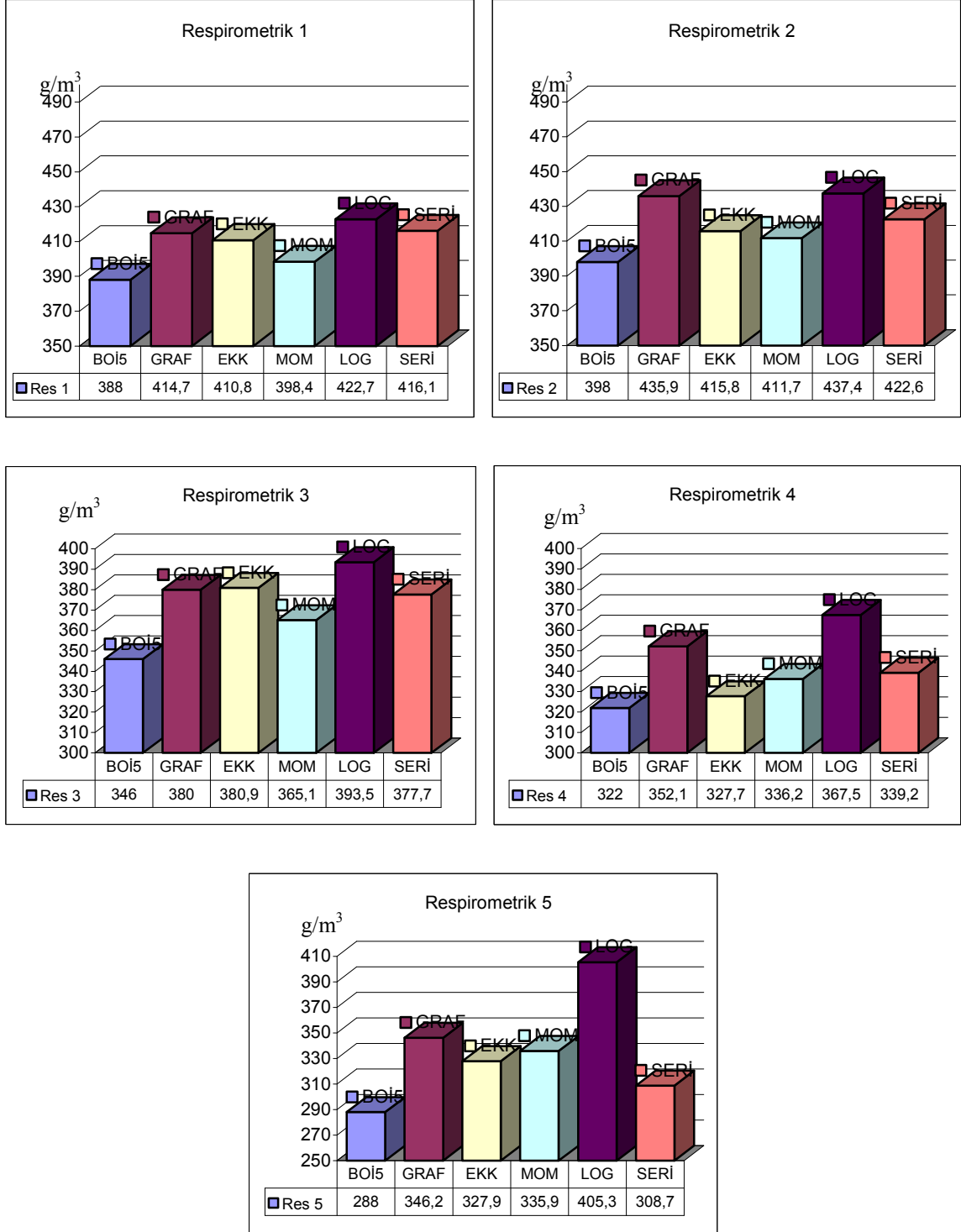
Tablo 17. Respirometrik BOİ değerlerinin kullanılan yöntemlerle bulunan k (gün⁻¹) ve L (g/m³) değerleri

Numune	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Grafik Yöntemi		EKK Yöntemi		Moment Yöntemi		Log Fark. Yöntemi		Seriler Yöntemi	
						k ve L Değerleri		k ve L Değerleri		k ve L Değerleri		k ve L Değerleri		k ve L Değerleri	
Respirometrik 1	188	244	308	344	388	0,520	414,7	0,487	410,8	0,539	398,4	0,394	422,7	0,484	416,1
Respirometrik 2	200	276	344	374	398	0,564	435,9	0,609	415,8	0,610	411,7	0,427	437,4	0,567	422,6
Respirometrik 3	166	222	288	322	346	0,511	380,0	0,478	380,9	0,534	365,1	0,380	393,5	0,491	377,7
Respirometrik 4	144	222	266	288	322	0,507	352,1	0,596	327,7	0,539	336,2	0,372	367,5	0,526	339,2
Respirometrik 5	100	188	210	254	288	0,350	346,2	0,395	327,9	0,365	335,9	0,232	405,3	0,433	308,7

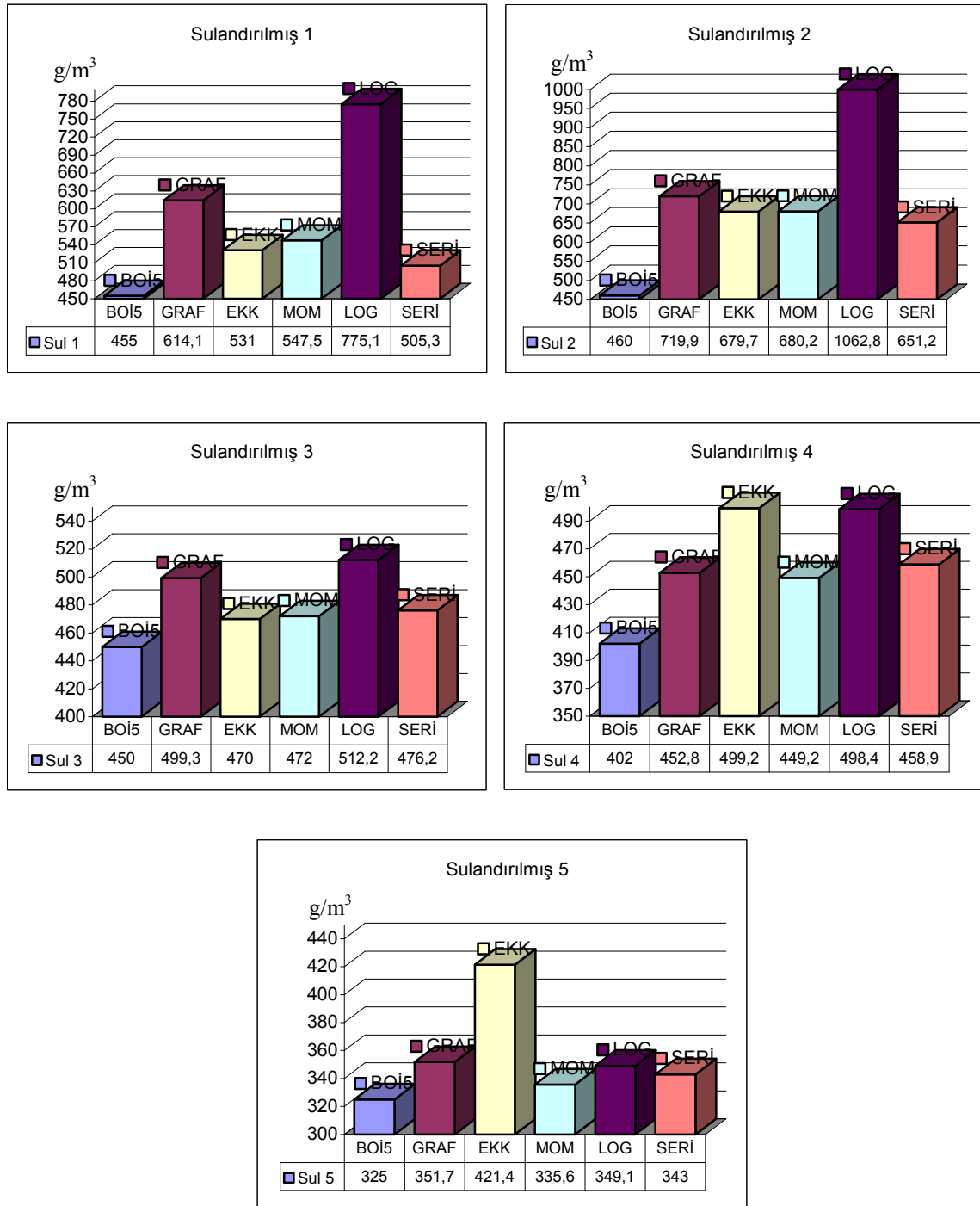
Tablo 18. Sulandırılmış (% 2) BOİ değerlerinin kullanılan yöntemlerle bulunan k (gün⁻¹) ve L (g/m³) değerleri

Numune	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Grafik Yöntemi		EKK Yöntemi		Moment Yöntemi		Log Fark. Yöntemi		Seriler Yöntemi	
						k ve L Değerleri		k ve L Değerleri		k ve L Değerleri		k ve L Değerleri		k ve L Değerleri	
Sulandırılmış 1	143	342	398	439	455	0,318	614,1	0,469	531,0	0,401	547,5	0,197	775,1	0,477	505,3
Sulandırılmış 2	143	245	379	435	460	0,223	719,9	0,248	679,7	0,243	680,2	0,120	1062,8	0,260	651,2
Sulandırılmış 3	211	322	383	423	450	0,532	499,3	0,611	470,0	0,577	472,0	0,395	512,2	0,562	476,2
Sulandırılmış 4	171	236	305	365	402	0,419	452,8	0,324	499,2	0,413	449,2	0,298	498,4	0,395	458,9
Sulandırılmış 5	180	197	262	316	325	0,557	351,7	0,315	421,4	0,587	335,6	0,434	349,1	0,553	343,0

Bu tablolardan elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 23 ve Şekil 24'de karşılaştırma düzlemlerinde gösterilmektedir.



Şekil 23. Respirometrik numuneler için farklı yöntemlerle bulunan toplam BOİ değerleri



Şekil 24. Sulandırılmış(% 2) numuneler için farklı yöntemlerle bulunan toplam BOİ değerleri

Şekil 23 ve Şekil 24'deki grafiklere bakıldığında sulandırılmış numuneler için değerlerin respirometrik değerlerden daha büyük olduğu, her iki numune için ise genelde Log Farklılıklar Metodu'nun büyük sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunlar arasında ise en iyi sonuçları daha önce yapılan araştırmalara göre (Nas, 2000) momentler metodu sağlamaktadır.

3.3. Respirometrik ve Sulandırılmış BOİ Değerleri İçin Aktif Çamur Tesisinin Boyutlandırılması

Bölüm 2.3.1.'deki akış diyagramına göre hazırlanan programdan elde edilen sonuçlar respirometrik numuneler için Tablo 19'dan Tablo 23'e kadar olan kısımda, sulandırılmış numuneler için ise Tablo 24'ten, Tablo 28'e kadar olan kısımda verilmiştir. Ayrıca tabloların karşılaştırma düzlemlerinde grafiksel gösterimleri Şekil 29'dan Şekil 34'e kadar olan kısımda incelenmiştir. Aşağıda sadece respirometrik 1 numunesinin grafik yöntemle bulunan değeri için programın koşturulması ayrıntılı olarak gösterilmiş (Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25) diğer değerler için sadece sonuçlar verilmiştir.

BOİ: g/m^3

BOİ yüklemesi: g

Debi: $35000 m^3 /gün$

t: gün (haznede tutulma süresi)

V_1 : m^3 (BOİ yüküne göre hazne hacmi)

V_2 : m^3 (havalandırma süresine göre hazne hacmi)

Hazne çeşidi: 1 (dikdörtgen hazne kullanılırsa)

Hazne çeşidi: 2 (daireseel hazne kullanılırsa)

Hazne derinliği: 5 m

Hazne genişliği: 10 m

Hazne adedi: 10

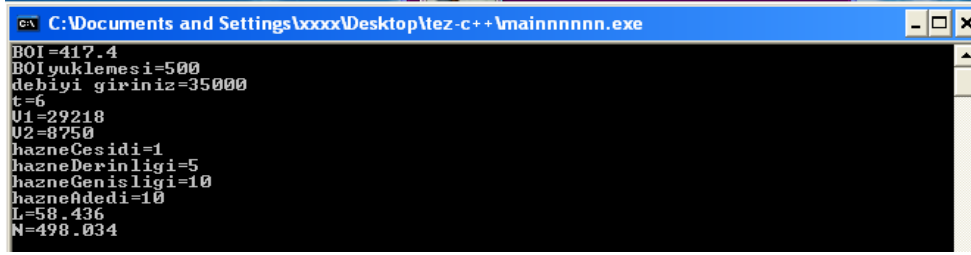
L: m (hazne uzunluğu)

N: hp (beygir gücü)(gereken kompresör gücü)

D: m^2 (hazne çapı)

3.3.1. Aktif Çamur Tesisinin Düşük Hızlı Boyutlandırması

0,5 kg BOİ/ m^3 yükle yüklendiği ve 6 saat havalandırıldığı varsayılarak C++ programından Şekil 25 Şekil 26'daki sonuçlar elde edilmiştir.

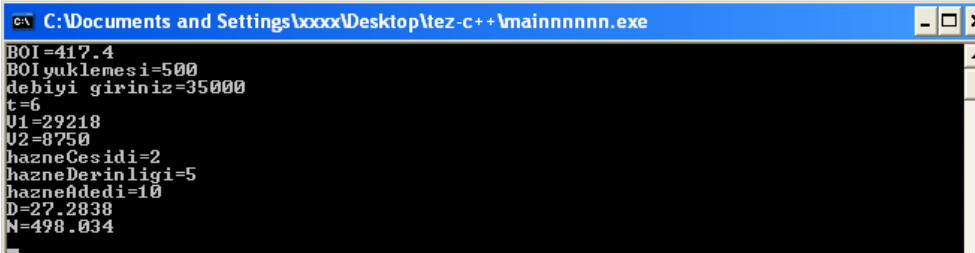


```

C:\Documents and Settings\xxxx\Desktop\tez-c++\mainnnnnn.exe
BOI=417.4
BOI yuklemesi=500
debiyi giriniz=35000
t=6
U1=29218
U2=8750
hazneCesidi=1
hazneDerinligi=5
hazneGenisligi=10
hazneAdedi=10
L=58.436
N=498.034

```

Şekil 25. Dikdörtgen hazne tipi için düşük hızlı yükleme



```

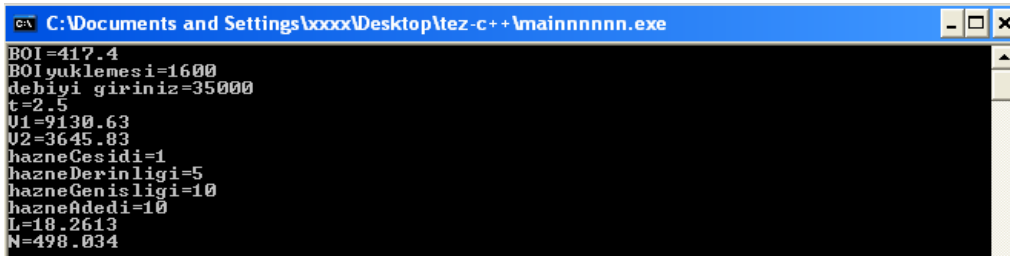
C:\Documents and Settings\xxxx\Desktop\tez-c++\mainnnnnn.exe
BOI=417.4
BOI yuklemesi=500
debiyi giriniz=35000
t=6
U1=29218
U2=8750
hazneCesidi=2
hazneDerinligi=5
hazneAdedi=10
D=27.2838
N=498.034

```

Şekil 26. Dairesel hazne tipi için düşük hızlı yükleme

3.3.2. Aktif Çamur Tesisinin Yüksek Hızlı Boyutlandırması

1,6 kg BOI/m³ yükle yüklendiği ve 2,5 saat havalandırıldığı varsayılarak C++ programından Şekil 27 ve Şekil 28'deki sonuçlar elde edilmiştir.

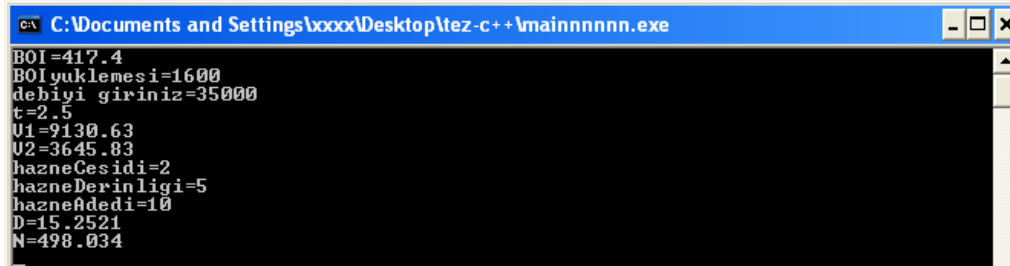


```

C:\Documents and Settings\xxxx\Desktop\tez-c++\mainnnnnn.exe
BOI=417.4
BOI yuklemesi=1600
debiyi giriniz=35000
t=2.5
U1=9130.63
U2=3645.83
hazneCesidi=1
hazneDerinligi=5
hazneGenisligi=10
hazneAdedi=10
L=10.2613
N=498.034

```

Şekil 27. Dikdörtgen hazne için yüksek hızlı yükleme



```

C:\Documents and Settings\xxxx\Desktop\tez-c++\mainnnnnn.exe
BOI=417.4
BOI yuklemesi=1600
debiyi giriniz=35000
t=2.5
U1=9130.63
U2=3645.83
hazneCesidi=2
hazneDerinligi=5
hazneAdedi=10
D=15.2521
N=498.034

```

Şekil 28. Dairesel hazne için yüksek hızlı yükleme

Tablo 19. Respirometrik 1 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Aritma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 1	388	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	27160,00	54,32	26,30	462,95
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8487,50	16,97	14,70	462,95
	388	Grafik	417,4	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	29218,00	58,44	27,28	498,03
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9130,63	18,26	15,25	498,03
	388	En küç.kareler	410,8	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	28756,00	57,51	27,07	490,16
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8986,25	17,97	15,13	490,16
	388	Moment	398,4	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	27888,00	55,78	26,65	475,36
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8715,00	17,43	14,90	475,36
	388	Log Fark.	422,7	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	29589,00	59,18	27,46	504,36
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9246,56	18,49	15,35	504,36
	388	Seriler	416,1	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	29127,00	58,25	27,24	496,48
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9102,19	18,20	15,23	496,48

Debi:35000 m³/gün

Tablo 20. Respirometrik 2 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Arıtma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 2	398	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	27860,00	55,72	26,64	474,89
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8706,25	17,41	14,89	474,89
	398	Grafik	435,9	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	30513,00	61,03	27,89	520,11
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9535,31	19,07	15,59	520,11
	398	En küç.kareler	415,8	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	29106,00	58,21	27,23	496,12
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9095,63	18,19	15,22	496,12
	398	Moment	411,7	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	28819,00	57,64	27,07	491,23
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9005,94	18,01	15,15	491,23
	398	Log Fark.	437,4	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	30618,00	61,24	27,93	521,90
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9568,13	19,14	15,61	521,90
	398	Seriler	422,6	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	29582,00	59,16	27,45	504,24
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9244,38	18,49	15,35	504,24

Debi:35000 m³/gün

Tablo 21. Respirometrik 3 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Aritma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 3	346	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	24220,00	48,44	24,84	412,84
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7568,75	15,14	13,89	412,84
	346	Grafik	380,0	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	26600,00	53,20	26,03	453,41
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8312,50	16,62	14,55	453,41
	346	En küç.kareler	380,9	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	26663,00	53,33	26,06	454,48
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8332,19	16,66	14,57	454,48
	346	Moment	365,1	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	25557,00	51,11	25,52	435,63
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7986,56	15,97	14,26	435,63
	346	Log Fark.	393,5	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	27545,00	55,09	26,49	469,52
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8607,81	17,21	14,81	469,52
	346	Seriler	377,7	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	26439,00	52,88	25,95	450,66
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8262,19	16,52	14,51	450,66

Debi:35000 m³/gün

Tablo 22. Respirometrik 4 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Arıtma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 4	322	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	22540,00	45,08	23,96	384,20
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7043,75	14,09	13,40	384,20
	322	Grafik	352,1	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	24647,00	49,29	25,06	420,12
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7702,19	15,40	14,01	420,12
	322	En küç.kareler	327,7	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	22939,00	45,88	24,16	391,01
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7168,44	14,34	13,51	391,01
	322	Moment	336,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	23534,00	47,07	24,49	401,15
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7354,38	14,71	13,69	401,15
	322	Log Fark.	367,5	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	25725,00	51,45	25,60	438,49
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8039,06	16,08	14,31	438,49
	322	Seriler	339,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	23744,00	47,49	24,59	404,73
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7420,00	14,84	13,75	404,73

Debi:35000 m³/gün

Tablo 23. Respirometrik 5 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Arıtma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 5	288	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	19320,00	38,64	22,19	329,32
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	6037,50	12,07	12,40	329,32
	288	Grafik	319,9	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	22393,00	44,79	23,88	381,70
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	6997,81	13,99	13,35	381,70
	288	En küç.kareler	303,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	21224,00	42,45	23,25	361,77
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	6632,50	13,26	13,00	361,77
	288	Moment	309,8	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	21686,00	43,37	23,50	369,65
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	6776,88	13,55	13,14	369,65
	288	Log Fark.	366,3	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	25641,00	51,28	25,56	437,06
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8012,81	16,02	14,29	437,06
	288	Seriler	308,7	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	21609	43,22	23,46	368,33
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	6752,81	13,50	13,12	368,33

Debi:35000 m³/gün

Tablo 24. Sulandırılmış 1 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Aritma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 1	455	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	31850,00	63,70	28,49	542,90
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9953,13	19,91	15,92	542,90
	455	Grafik	614,1	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	42987,00	85,97	33,09	732,73
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	13433,40	26,87	18,50	732,73
	455	En küç.kareler	531,0	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	37170,00	74,34	30,77	633,58
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	11615,60	23,23	17,20	633,58
	455	Moment	547,5	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	38325,00	76,65	31,25	653,28
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	11976,60	23,95	17,47	653,28
	455	Log Fark.	775,1	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	54257,00	108,51	37,18	924,83
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	16955,30	33,91	20,78	924,83
	455	Seriler	505,3	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	35371,00	70,74	30,02	602,91
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	11053,40	22,11	16,78	602,91

Debi:35000 m³/gün

Tablo 25. Sulandırılmış 2 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Aritma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 2	460	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	32200,00	64,40	28,64	548,86
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10062,50	20,12	16,01	548,86
	460	Grafik	719,9	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	50393,00	100,79	35,83	858,97
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	15747,80	31,49	20,03	858,97
	460	En küç.kareler	679,7	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	47579,00	95,16	34,82	811,00
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	14868,40	29,74	19,46	811,00
	460	Moment	680,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	47614,00	95,23	34,83	811,60
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	14879,40	29,76	19,47	811,60
	460	Log Fark.	1062,8	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	74396,00	148,79	43,54	1268,11
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	23248,80	46,50	24,34	1268,11
	460	Seriler	651,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	45584,00	91,17	34,08	777,00
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	14245,00	28,49	19,05	777,00

Debi:35000 m³/gün

Tablo 26. Sulandırılmış 3 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Aritma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 3	450	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	31500,00	63,00	28,33	536,93
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9843,75	19,69	15,84	536,93
	450	Grafik	499,3	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	34951,00	69,90	29,84	595,76
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10922,20	21,84	16,68	595,76
	450	En küç.kareler	470,0	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	32900,00	65,80	28,95	560,79
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10281,30	20,56	16,18	560,79
	450	Moment	472,0	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	33040,00	66,08	29,01	563,18
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10325,00	20,65	16,22	563,18
	450	Log Fark.	512,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	35854,00	71,71	30,22	611,15
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	11204,40	22,41	16,90	611,15
	450	Seriler	476,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	33334,00	66,67	29,14	568,19
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10416,90	20,83	16,29	568,19

Debi:35000 m³/gün

Tablo 27. Sulandırılmış 4 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

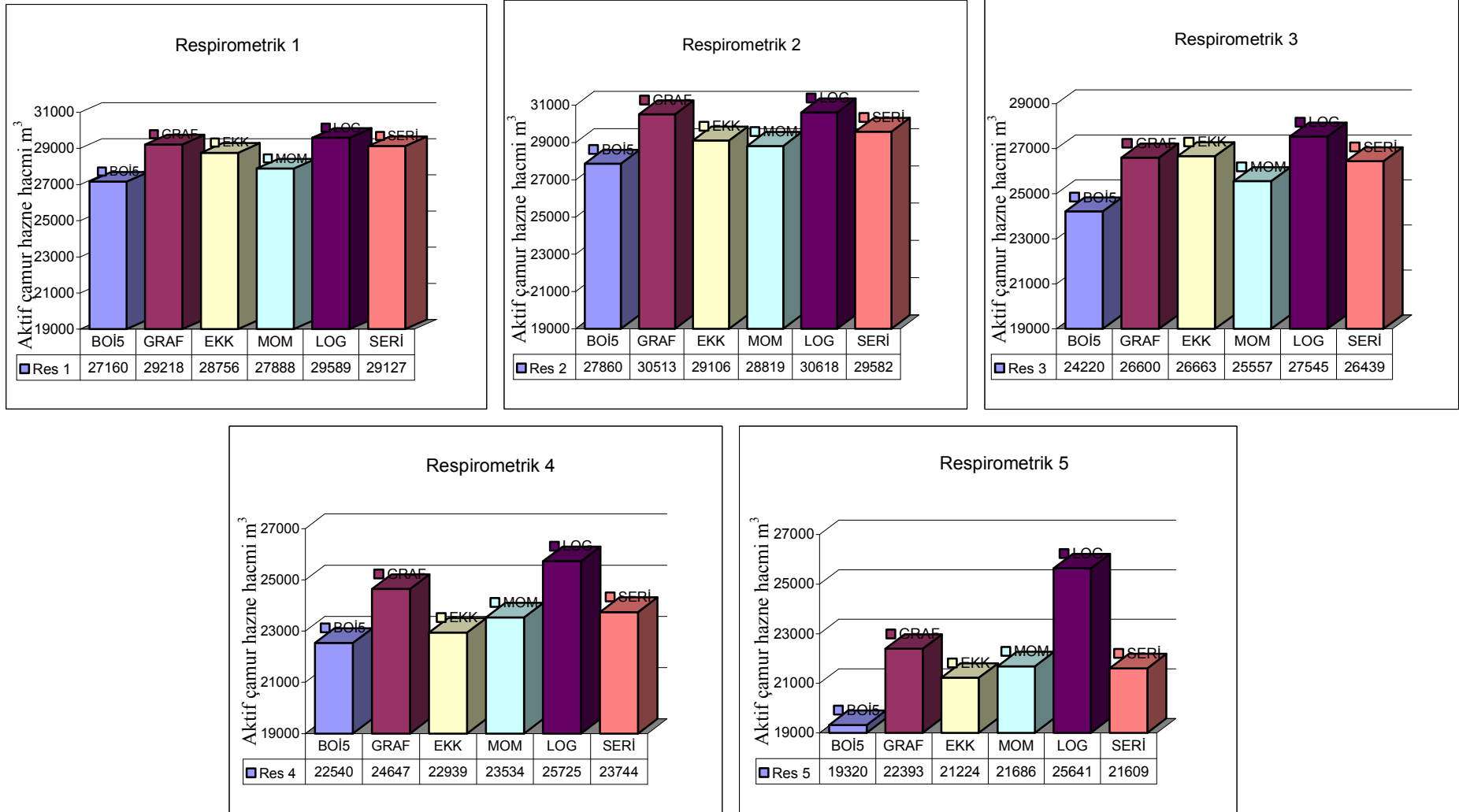
Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Arıtma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (dairesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 4	402	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	28140,00	56,28	26,78	479,67
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	8793,75	17,59	14,97	479,67
	402	Grafik	452,8	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	31696,00	63,39	28,42	540,27
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9905,00	19,81	15,89	540,27
	402	En küç.kareler	499,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	34944,00	69,89	29,84	595,64
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10920,00	21,84	16,68	595,64
	402	Moment	449,2	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	31444,00	62,89	28,30	535,98
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9826,25	19,65	15,82	535,98
	402	Log Fark.	498,4	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	34888,00	69,78	29,81	594,68
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10902,50	21,80	16,67	594,68
	402	Seriler	458,9	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	32123,00	64,25	28,61	547,55
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	10038,40	20,08	15,99	547,55

Debi:35000 m³/gün

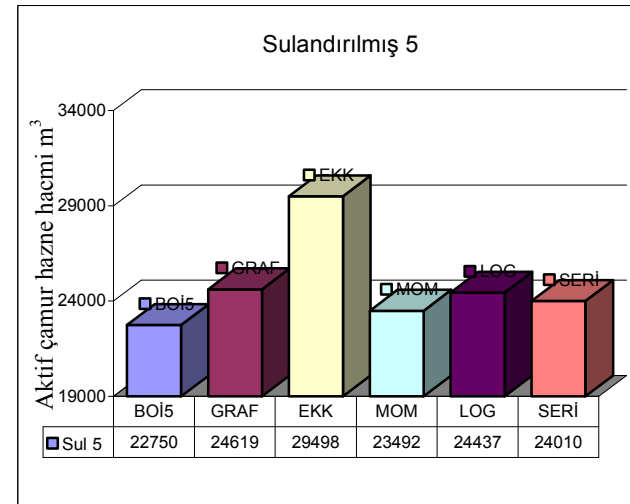
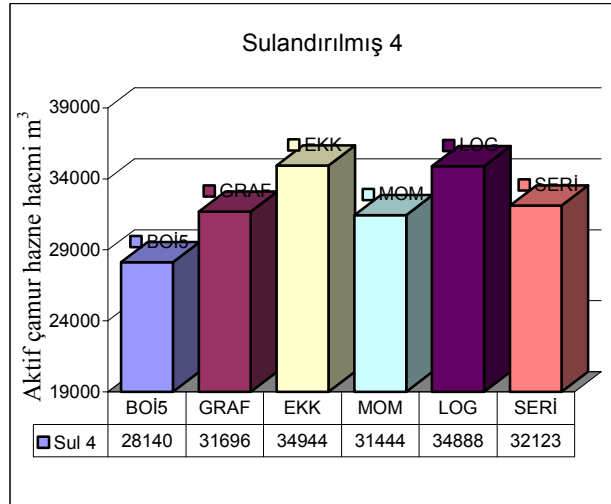
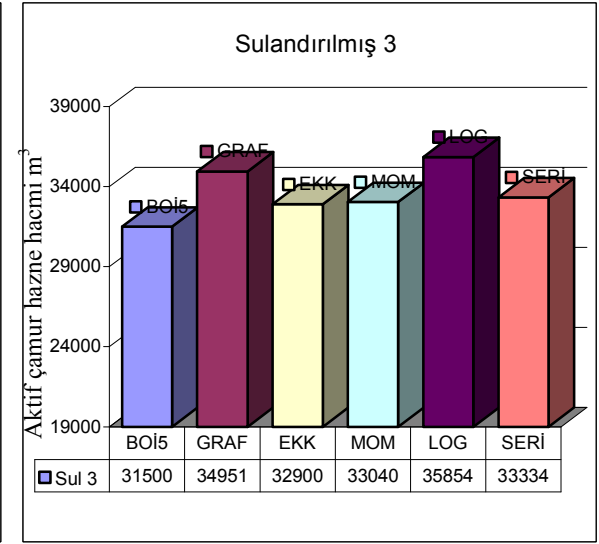
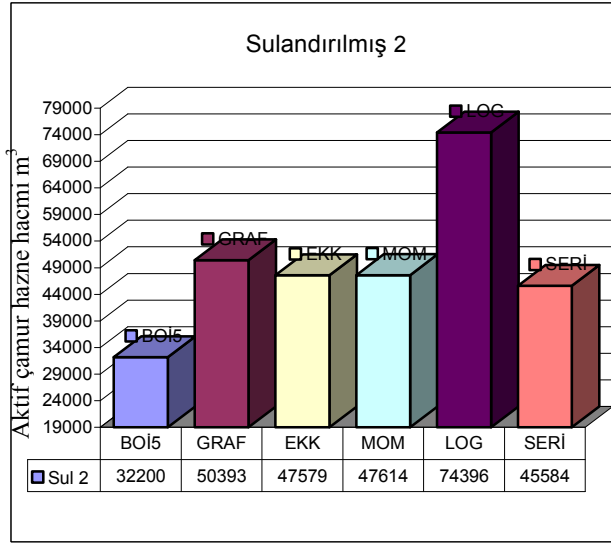
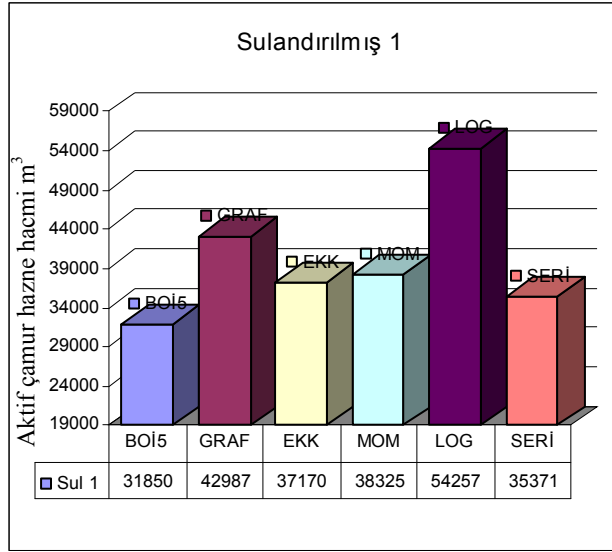
Tablo 28. Sulandırılmış 5 numunesi için aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	Aritma yöntemi	t (saat)	V ₁ (BOİ yük. göre haz hac.) (m ³)	L (dikdörtgen haz. uzun.) (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D (daireesel hazne çapı) (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 5	325	-	-	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	22750,00	45,50	24,07	387,78
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7109,38	14,22	13,46	387,78
	325	Grafik	351,7	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	24619,00	49,24	25,04	419,64
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7693,44	15,39	14,00	419,64
	325	En küç.kareler	421,4	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	29498,00	59,00	27,41	502,81
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	9218,13	18,44	15,32	502,81
	325	Moment	335,6	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	23492,00	46,98	24,46	400,43
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7341,25	14,68	13,68	400,43
	325	Log Fark.	349,1	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	24437,00	48,87	24,95	416,54
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7636,56	15,27	13,95	416,54
	325	Seriler	343,0	Düşük hız. Yük (0,5 kg BOİ/m ³)	6	24010,00	48,02	24,73	409,26
				Yüksek hız. Yük (1,6 kg BOİ/m ³)	2,5	7503,13	15,01	13,83	409,26

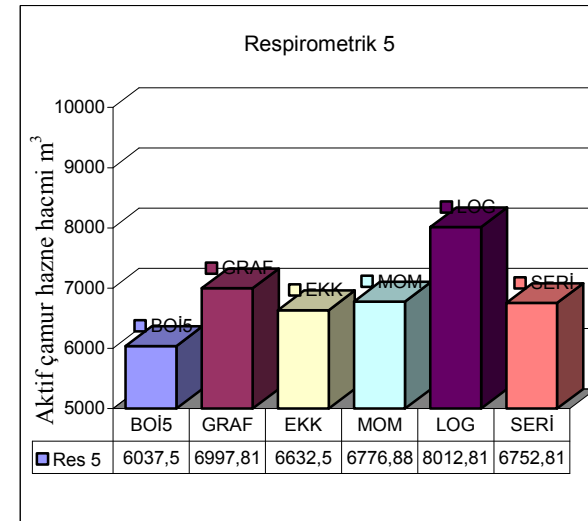
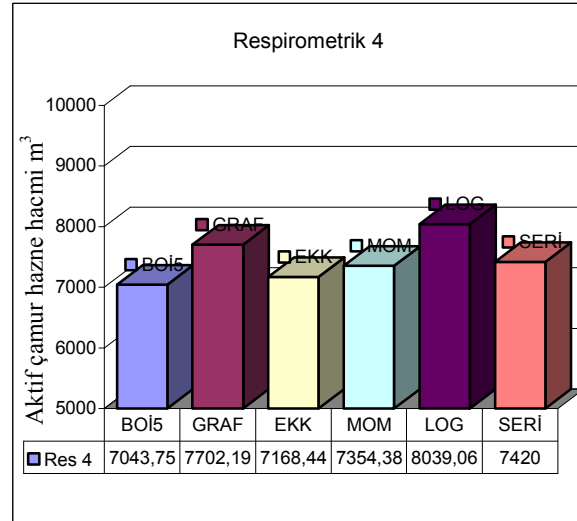
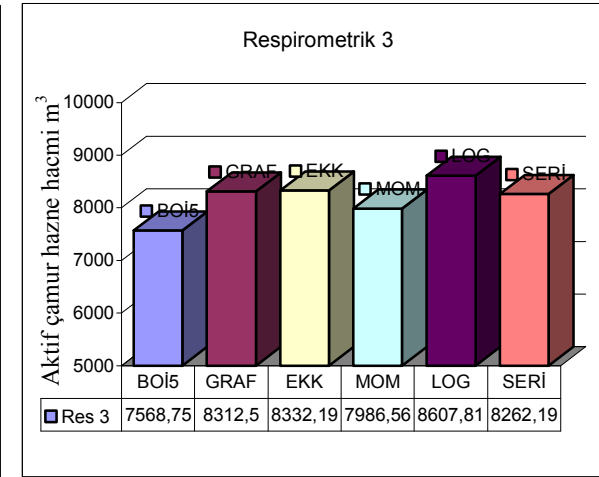
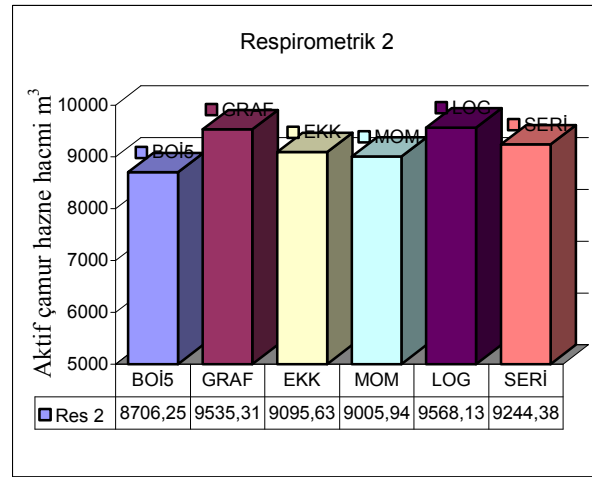
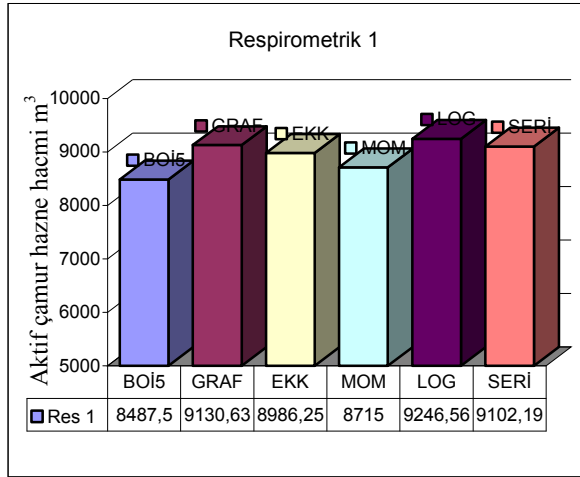
Debi:35000 m³/gün



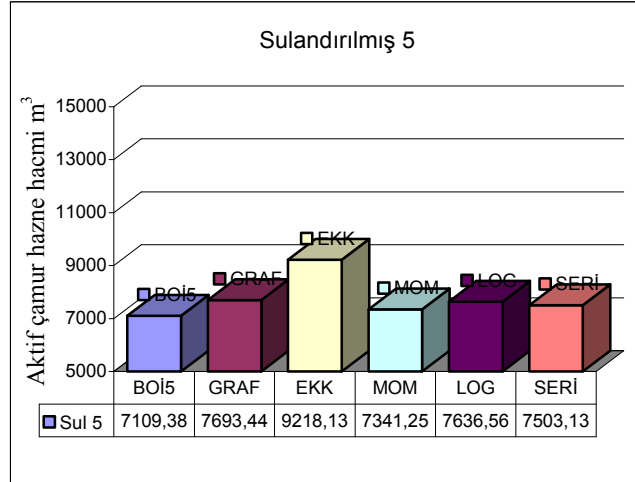
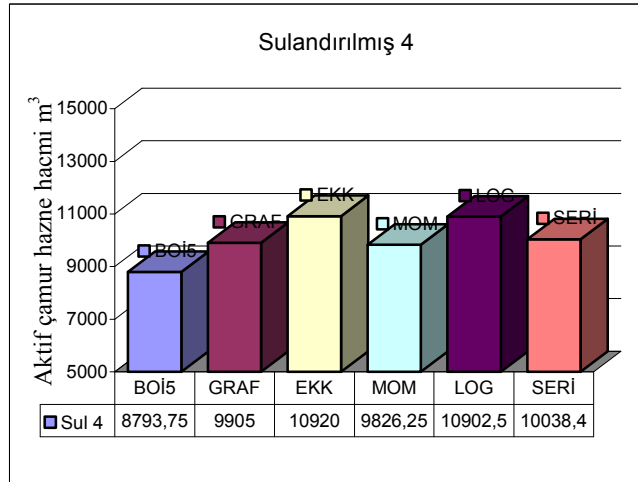
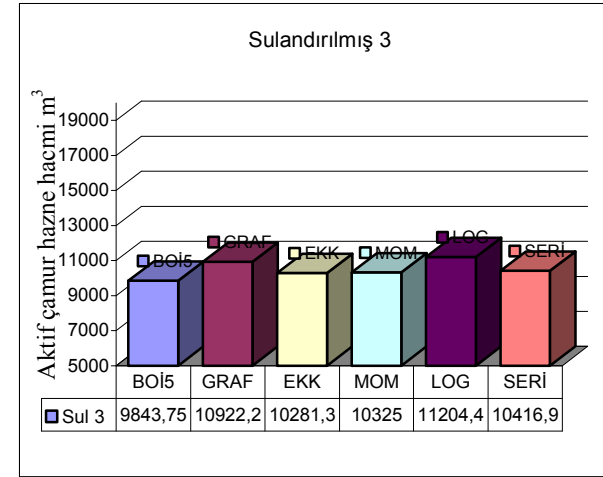
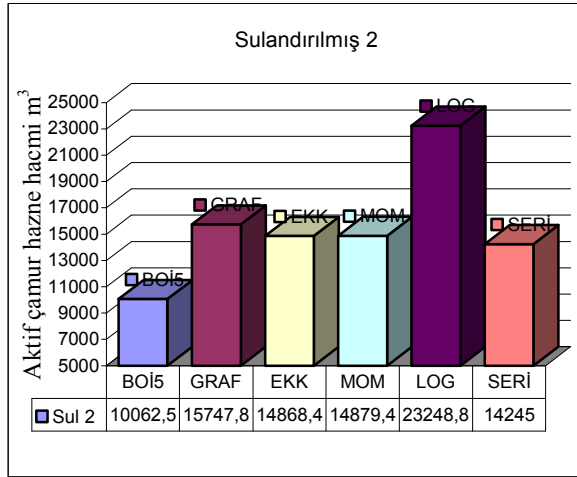
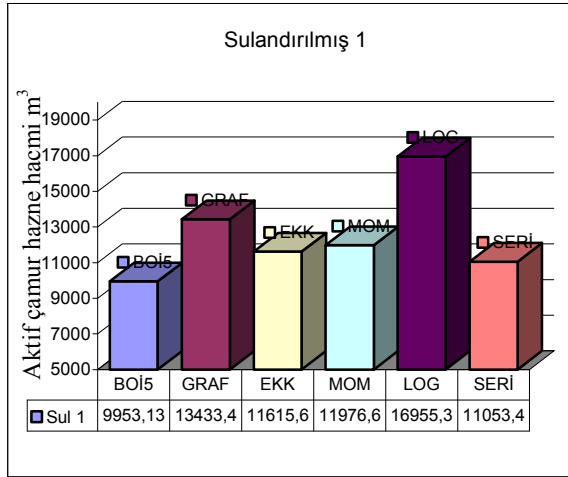
Şekil 29. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin düşük hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri



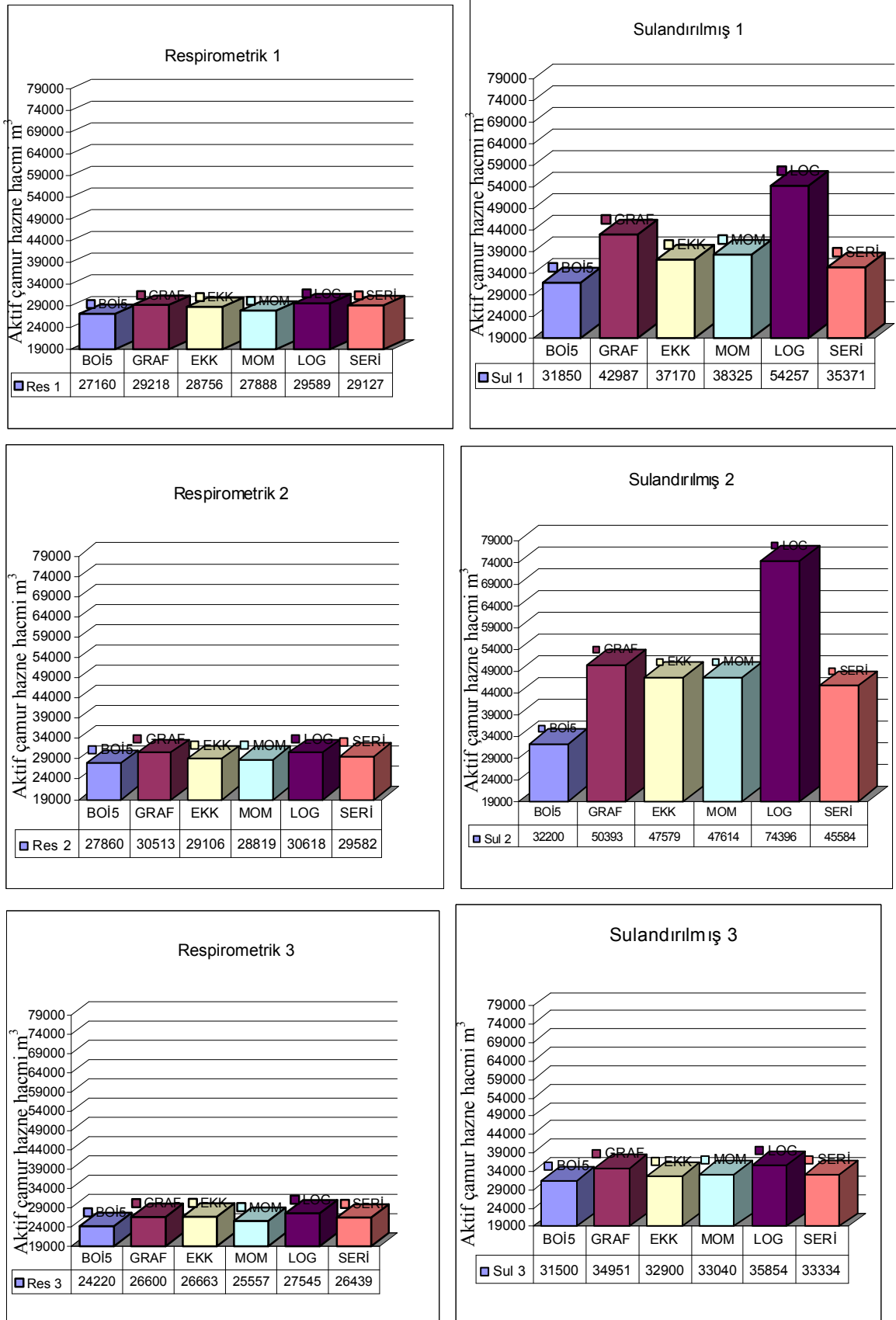
Şekil 30. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin düşük hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri



Şekil 31. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin yüksek hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri

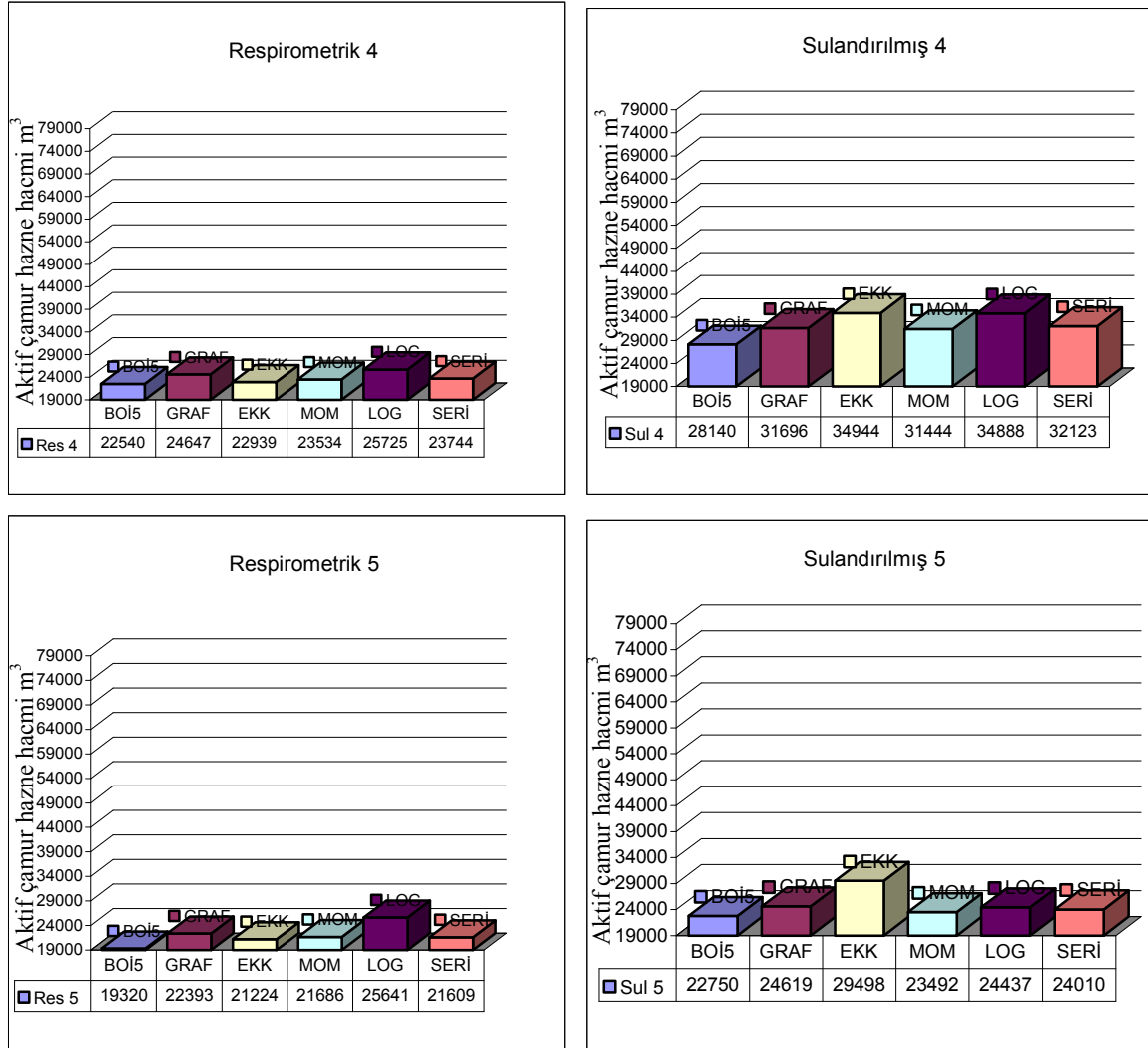


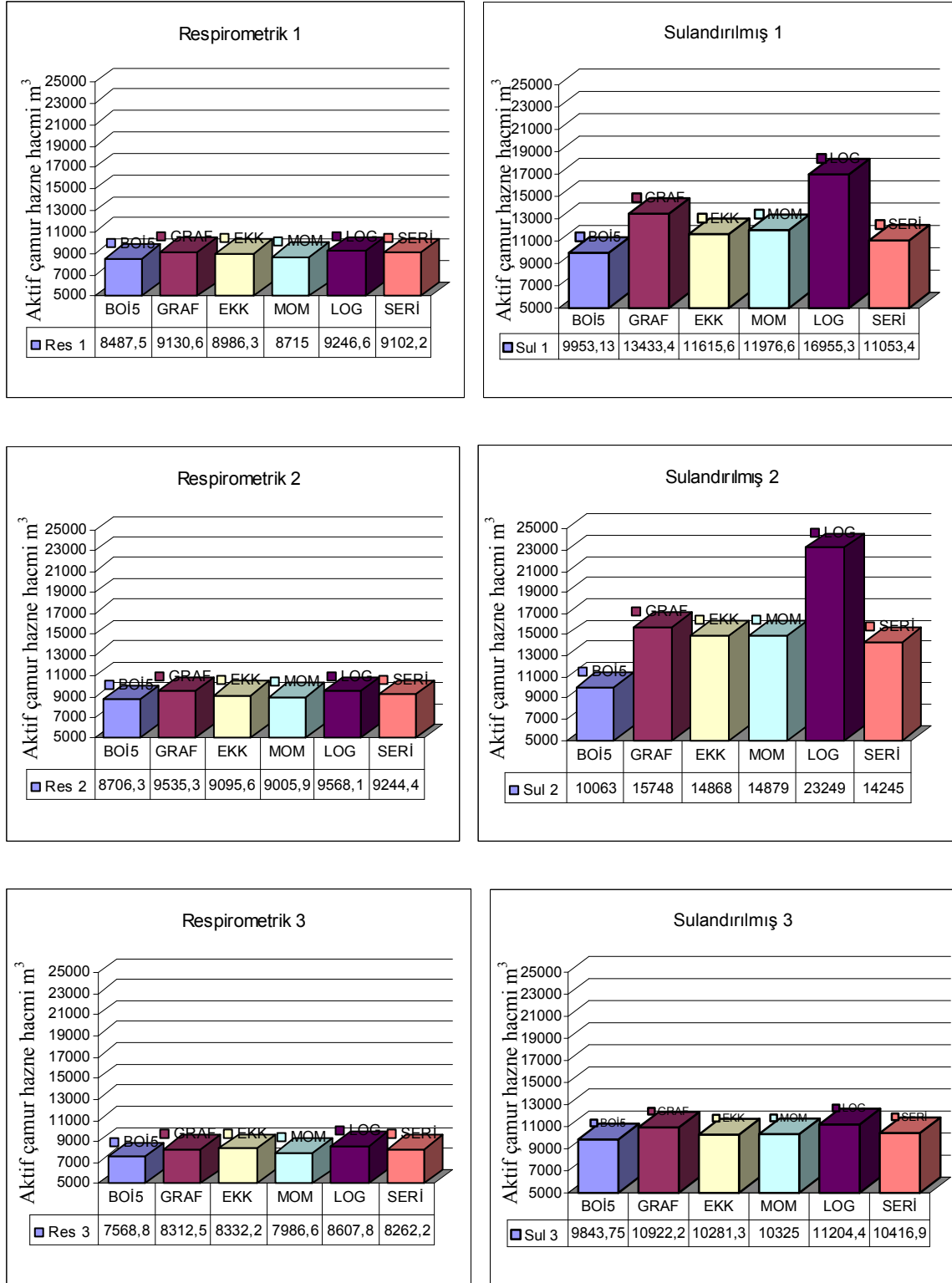
Şekil 32. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin yük. hızlı aktif çamur ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri



Şekil 33. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin düşük hızlı aktif çamur tesislerinin boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması

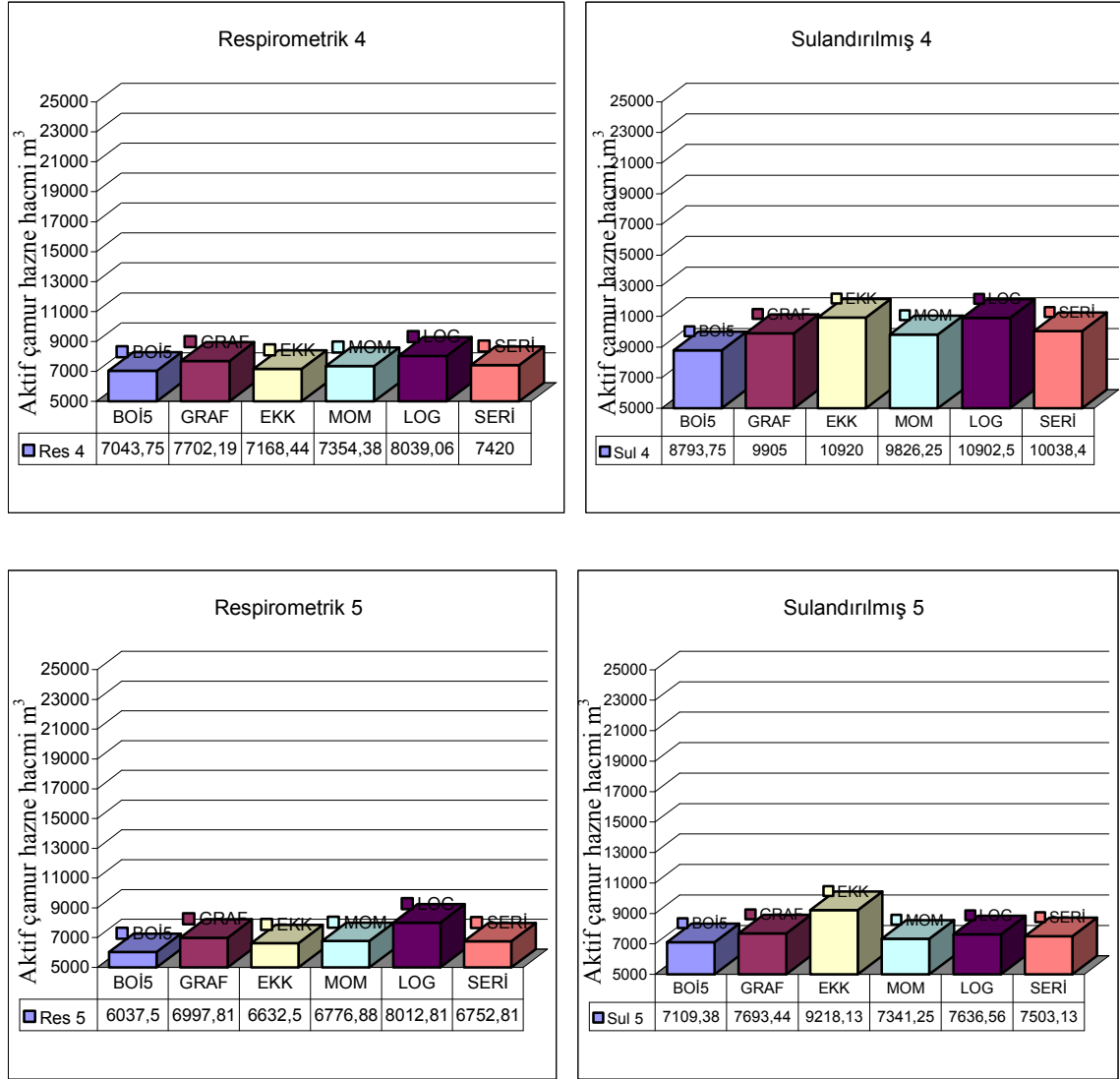
Şekil 33.' un devamı





Şekil 34. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin yüksek hızlı aktif çamur tesislerinin boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması

Şekil 34'ün devamı



Şekil 33 ve Şekil 34'deki grafikler incelendiğinde hazne hacimlerinin BOİ değerleriyle orantılı olarak arttığı, dolayısıyla respirometrik değerlerle hesaplanan hazne hacimlerinin sulandırılmış numune değerleriyle hesaplanandan küçük olduğu görülmektedir. Ayrıca tesisin yüksek hızla veya düşük hızla yüklenmeleri karşılaştırıldığında, yüksek hızla yüklenen tesis boyutlarının düşük hızla yüklenenden küçük olduğu görülmektedir. Fakat burada yüksek hızlı tesislerde kısmi arıtmanın, düşük hızlı tesislerde ise tam arıtmanın elde edildiği, yüksek hızlı tesislerde kısmi arıtmanın veriminin % 80'den küçük ve çıkış suyu BOİ₅ değerinin 30 mg/l den büyük, düşük hızlı tesislerde ise arıtma veriminin % 90 ve üzerinde, BOİ₅ değerinin de 20 mg/l'nin altında olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

3.4. Respirometrik ve Sulandırılmış BOİ Değerleri İçin Biyodisk Tesisinin Boyutlandırılması

Bölüm 2.4.1.'deki akış diyagramına göre hazırlanan programdan elde edilen sonuçlar respirometrik numuneler için Tablo 29'dan Tablo 33'e kadar olan kısımda, sulandırılmış numuneler için ise Tablo 34'ten, Tablo 38'e kadar olan kısımda verilmiştir. Ayrıca tabloların karşılaştırma düzlemlerinde grafiksel gösterimleri Şekil 36, Şekil 37 ve Şekil 38'de incelenmiştir. Programın oluşturulması ayrıntılı olarak sadece respirometrik 1 numunesinin seriler yöntemiyle bulunan değeri için gösterilmiş (Şekil 34) diğer değerler için sadece sonuçlar verilmiştir

Debi : 35000 m³/gün

BOİ: g/m³

Ünite sayısı : adet

Grup sayısı: adet

sBOİ = (0,5-0,75)*BOİ

Disk alanı = 16700 m²/şaft

Birinci grup sBOİ yüklemesi : g sBOİ / m².gün

Toplam organik yükleme : g BOİ / m².gün

```

C:\Documents and Settings\xxxx\Desktop\tez-c++\biyodisk.exe
debi=35000
BOİ=416.1
sBOİ=249.66
gerekendiskAlanı=582540
diskAlanı sec =16700
saftSayisi=35
uniteSayisi sec=6
S1=78.3736   S2=38.0341   S3=23.1236   S4=15.992   S5=11.9859   S6=9.47984
BirinciGrupOrgYukleme=87.2066
ToplamOrganikYukleme=4.15269
tasarım yeterlidir

```

Şekil 35. Biyodisk tasarımı için C++ çıktısı

Tablo 29. Respirometrik 1 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Respirometrik 1	388	-	-	232,8	35000	6	5833,3	543200	6	16700	81,3	33	9,38	4,11
	388	Graf.	417,4	250,4	35000	6	5833,3	584360	6	16700	87,5	35	9,48	4,16
	388	E.K.K	410,8	246,5	35000	6	5833,3	575120	6	16700	86,1	35	9,46	4,10
	388	Mom.	398,4	239,0	35000	6	5833,3	557760	6	16700	83,5	34	9,42	4,09
	388	Log.	422,7	253,6	35000	6	5833,3	591780	6	16700	88,6	36	9,50	4,10
	388	Seri.	416,1	249,7	35000	6	5833,3	582540	6	16700	87,2	35	9,48	4,15

Tablo 30. Respirometrik 2 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Respirometrik 2	398	-	-	238,8	35000	6	5833,3	557200	6	16700	83,4	34	9,42	4,09
	398	Graf.	435,9	261,5	35000	6	5833,3	610260	6	16700	91,3	37	9,54	4,11
	398	E.K.K	415,8	249,5	35000	6	5833,3	582120	6	16700	87,4	35	9,48	4,15
	398	Mom.	411,7	247,0	35000	6	5833,3	576380	6	16700	86,3	35	9,46	4,11
	398	Log.	437,4	262,4	35000	6	5833,3	612360	6	16700	91,7	37	9,55	4,13
	398	Seri.	422,6	253,5	35000	6	5833,3	591640	6	16700	88,5	36	9,50	4,10

Tablo 31. Respirometrik 3 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Respirometrik 3	346	-	-	207,6	35000	6	5833,3	484400	6	16700	72,5	30	9,23	4,03
	346	Graf.	380,0	228,0	35000	6	5833,3	532000	6	16700	79,6	32	9,35	4,15
	346	E.K.K	380,9	228,5	35000	6	5833,3	533260	6	16700	79,8	32	9,36	4,16
	346	Mom.	365,1	219,1	35000	6	5833,3	511140	6	16700	76,5	31	9,30	4,11
	346	Log.	393,5	236,1	35000	6	5833,3	550900	6	16700	82,5	33	9,40	4,16
	346	Seri.	377,7	226,6	35000	6	5833,3	528780	6	16700	79,1	32	9,35	4,12

Tablo 32. Respirometrik 4 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Respirometrik 4	322	-	-	193,2	35000	6	5833,3	450800	6	16700	67,5	27	9,12	4,16
	322	Graf.	352,1	211,2	35000	6	5833,3	492940	6	16700	73,8	30	9,25	4,10
	322	E.K.K	327,7	196,6	35000	6	5833,3	458780	6	16700	68,7	28	9,15	4,08
	322	Mom.	336,2	201,7	35000	6	5833,3	470680	6	16700	70,4	29	9,19	4,05
	322	Log.	367,5	220,5	35000	6	5833,3	514500	6	16700	77,0	31	9,31	4,14
	322	Seri.	339,2	203,5	35000	6	5833,3	474880	6	16700	71,1	29	9,20	4,08

Tablo 33. Respirometrik 5 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Respirometrik 5	288	-	-	172,8	35000	6	5833,3	403200	6	16700	60,3	25	8,97	4,02
	288	Graf.	319,9	191,9	35000	6	5833,3	447860	6	16700	67,0	27	9,12	4,13
	288	E.K.K	303,2	181,9	35000	6	5833,3	424480	6	16700	63,5	26	9,04	4,07
	288	Mom.	309,8	185,8	35000	6	5833,3	433720	6	16700	64,9	26	9,07	4,16
	288	Log.	366,3	219,8	35000	6	5833,3	512820	6	16700	76,7	31	9,30	4,12
	288	Seri.	308,7	185,2	35000	6	5833,3	432180	6	16700	64,7	26	9,07	4,15

Tablo 34. Sulandırılmış 1 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Sulandırılmış 1	455	-	-	273,0	35000	6	5833,3	637000	6	16700	95,3	39	9,59	4,07
	455	Graf.	614,1	368,5	35000	6	5833,3	859740	6	16700	128,7	52	9,99	4,12
	455	E.K.K	531,0	318,6	35000	6	5833,3	743400	6	16700	111,3	45	9,80	4,12
	455	Mom.	547,5	328,5	35000	6	5833,3	766500	6	16700	114,7	46	9,84	4,15
	455	Log.	775,1	465,1	35000	7	5833,3	1085140	6	16700	139,2	65	8,98	3,57
	455	Seri.	505,3	303,2	35000	6	5833,3	707420	6	16700	105,9	43	9,74	4,10

Tablo 35. Sulandırılmış 2 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Sulandırılmış 2	460	-	-	276,0	35000	6	5833,3	644000	6	16700	96,4	39	9,61	4,12
	460	Graf.	719,9	431,9	35000	7	5833,3	1007860	6	16700	129,3	61	8,90	3,53
	460	E.K.K	679,7	407,8	35000	7	5833,3	951580	6	16700	122,1	57	8,84	3,57
	460	Mom.	680,2	408,1	35000	7	5833,3	952280	6	16700	122,2	58	8,84	3,51
	460	Log.	1062,8	637,7	35000	7	5833,3	1487920	6	16700	190,9	90	9,31	3,53
	460	Seri.	651,2	390,7	35000	7	5833,3	911680	6	16700	117,0	55	8,79	3,54

Tablo 36. Sulandırılmış 3 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

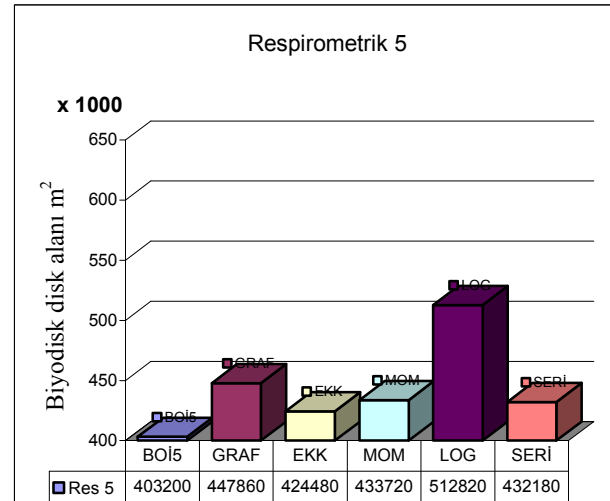
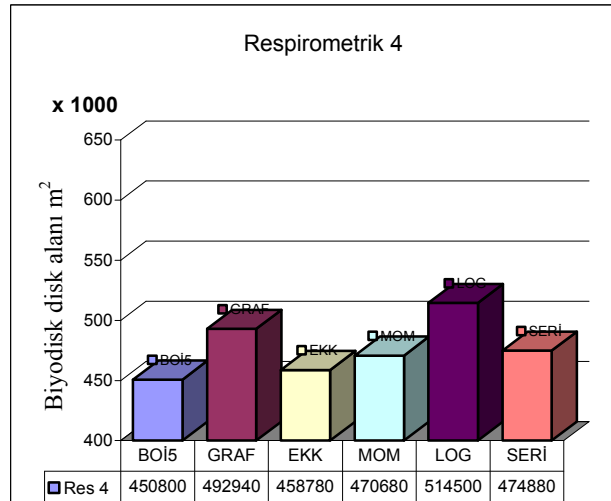
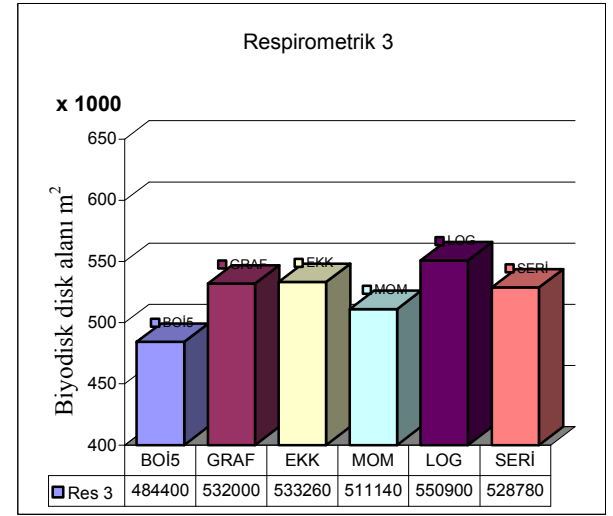
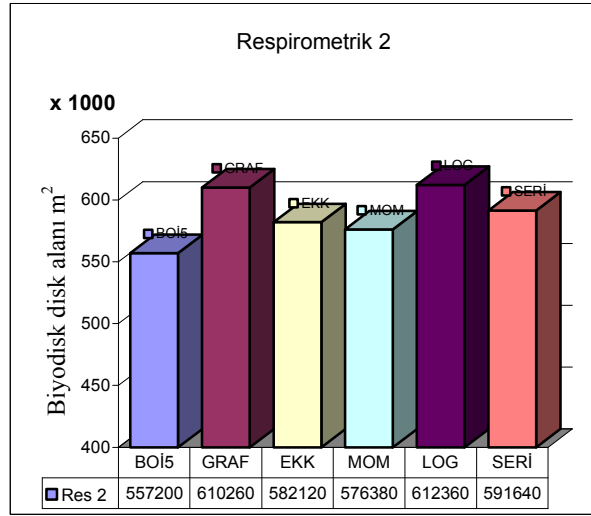
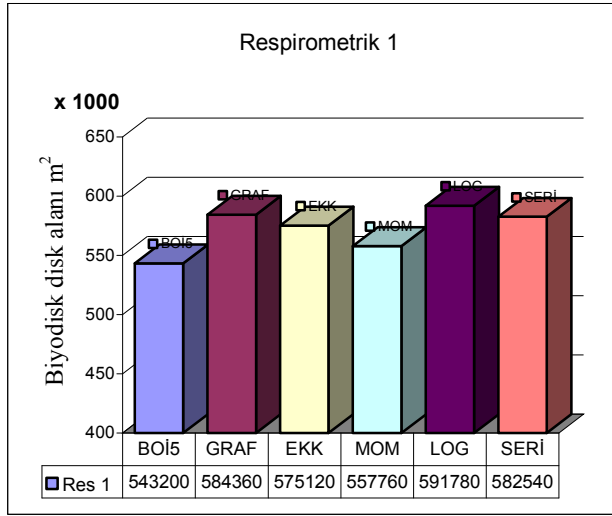
Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Sulandırılmış 3	450	-	-	270,0	35000	6	5833,3	630000	6	16700	94,3	38	9,58	4,13
	450	Graf.	499,3	299,6	35000	6	5833,3	699020	6	16700	104,6	42	9,72	4,15
	450	E.K.K	470,0	282,0	35000	6	5833,3	658000	6	16700	98,5	40	9,64	4,10
	450	Mom.	472,0	283,2	35000	6	5833,3	660800	6	16700	98,9	40	9,65	4,12
	450	Log.	512,2	307,3	35000	6	5833,3	717080	6	16700	107,3	43	9,75	4,16
	450	Seri.	476,2	285,7	35000	6	5833,3	666680	6	16700	99,8	40	9,66	4,16

Tablo 37. Sulandırılmış 4 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

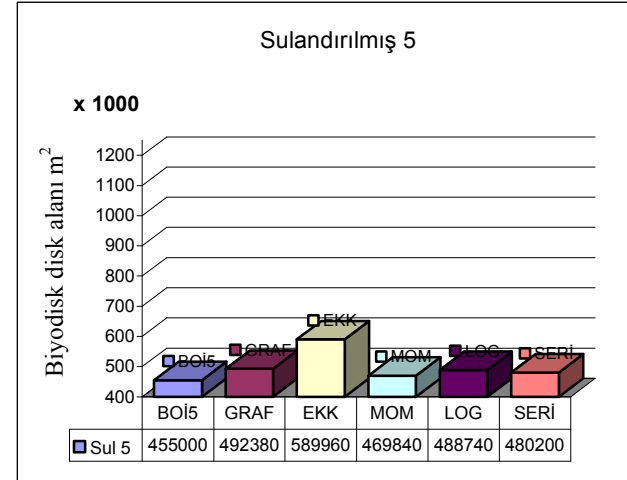
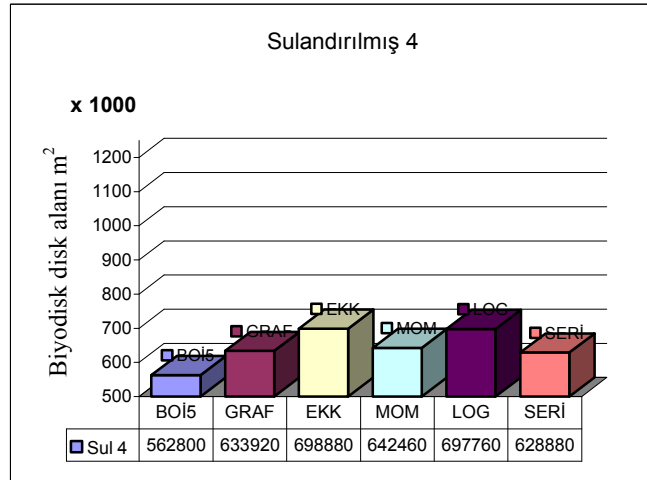
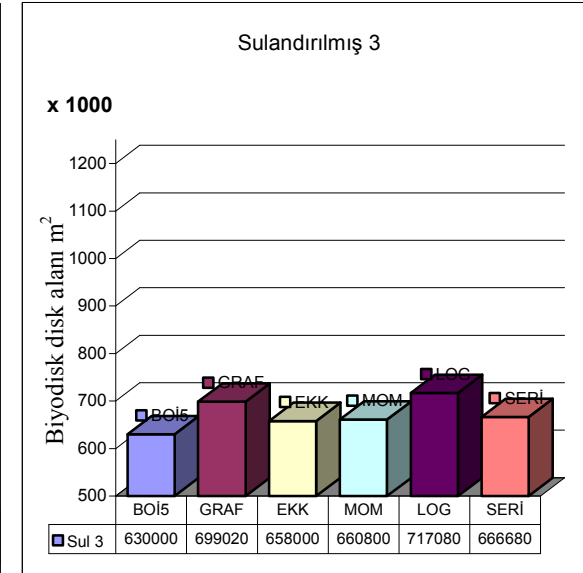
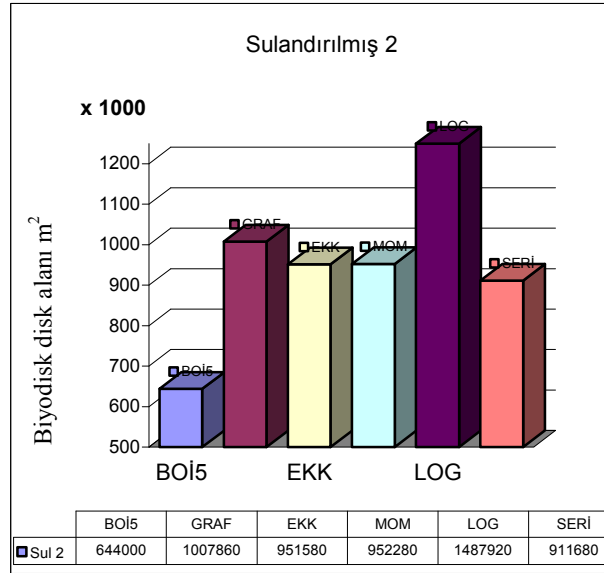
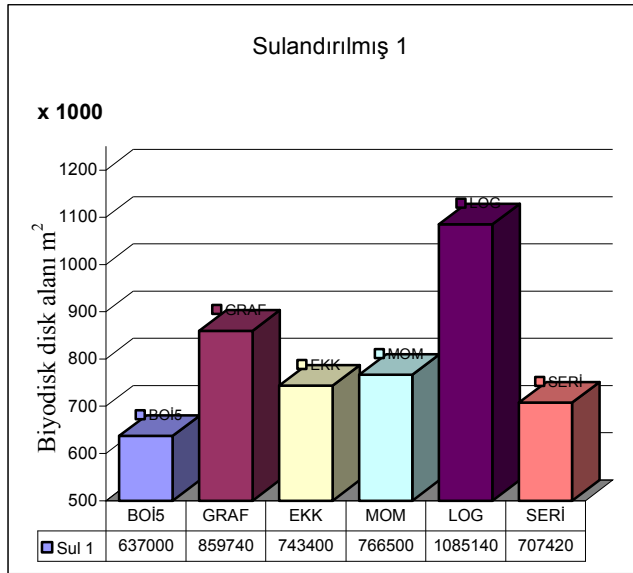
Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Sulandırılmış 4	402	-	-	241,2	35000	6	5833,3	562800	6	16700	84,2	34	9,43	4,13
	402	Graf.	452,8	271,7	35000	6	5833,3	633920	6	16700	94,9	38	9,59	4,16
	402	E.K.K	499,2	299,5	35000	6	5833,3	698880	6	16700	104,6	42	9,72	4,15
	402	Mom.	458,9	275,3	35000	6	5833,3	642460	6	16700	96,2	39	9,61	4,11
	402	Log.	498,4	299,0	35000	6	5833,3	697760	6	16700	104,4	42	9,72	4,14
	402	Seri.	449,2	269,5	35000	6	5833,3	628880	6	16700	94,1	38	9,58	4,13

Tablo 38. Sulandırılmış 5 numunesi için biyodisk sisteminin boyutlandırılması

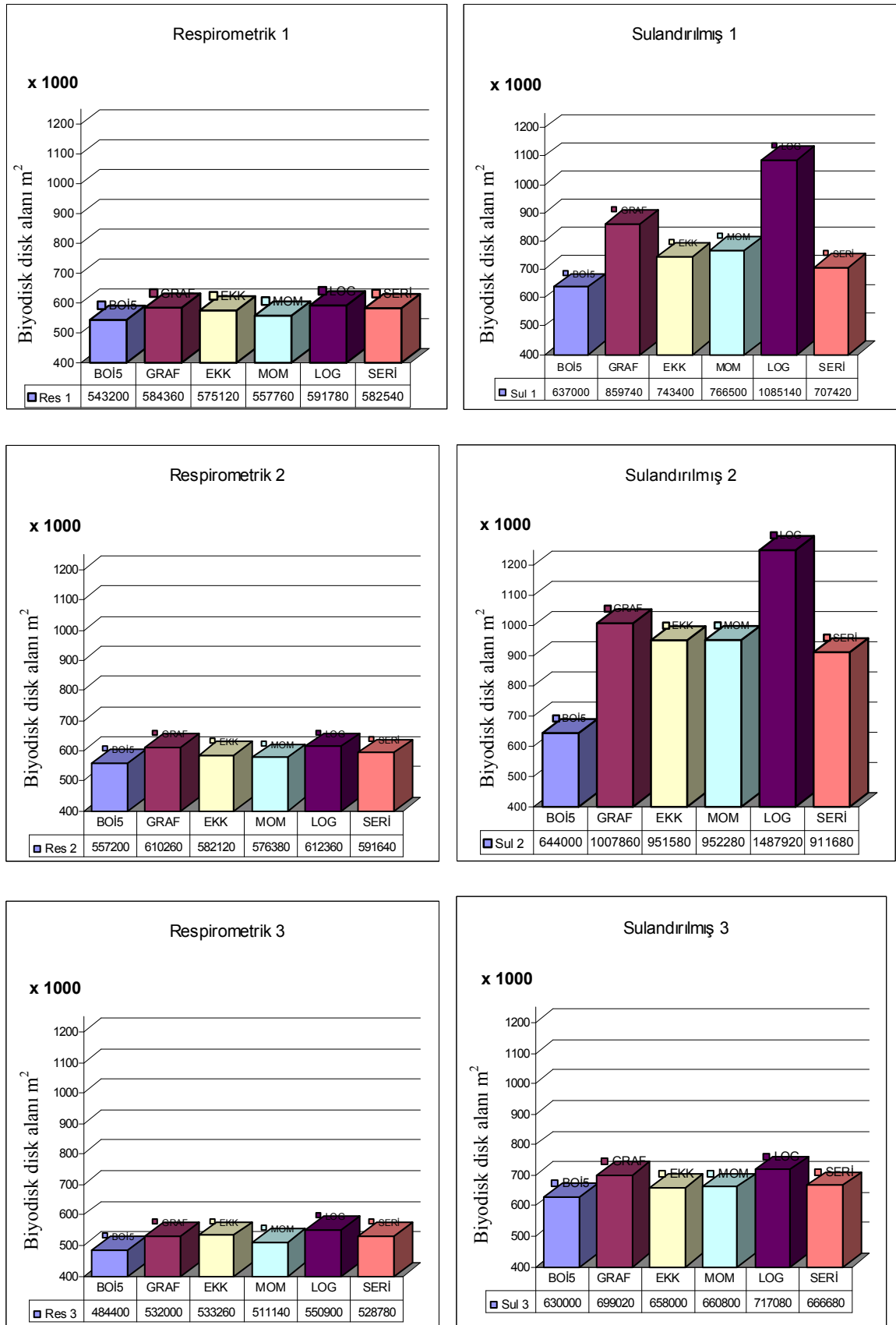
Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	sBOİ _L (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	Ünite sayısı (Adet)	Debi/Ünite (m ³ /gün)	Gereken disk alanı (m ²)	Grup sayısı (Adet)	Top. disk alanı/grup (m ²)	1. grup sBOİ _L yükü (g sBOİ/m ² .gün)	Şaft sayısı (Adet)	S ₆ Son grup sBOİ _L kons. (g/m ³)	Toplam organik yükleme (g BOİ/m ² .gün)
Sulandırılmış 5	325	-	-	195,0	35000	6	5833,3	455000	6	16700	68,1	28	9,14	4,05
	325	Graf.	351,7	211,0	35000	6	5833,3	492380	6	16700	73,7	30	9,25	4,09
	325	E.K.K	421,4	252,8	35000	6	5833,3	589960	6	16700	88,3	36	9,50	4,08
	325	Mom.	335,6	201,3	35000	6	5833,3	469840	6	16700	70,3	29	9,18	4,04
	325	Log.	349,1	209,4	35000	6	5833,3	488740	6	16700	73,1	30	9,24	4,06
	325	Seri.	343,0	205,8	35000	6	5833,3	480200	6	16700	71,9	29	9,21	4,13



Şekil 36. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin biyodisk ünitelerinin boyutlandırılmasına etkileri

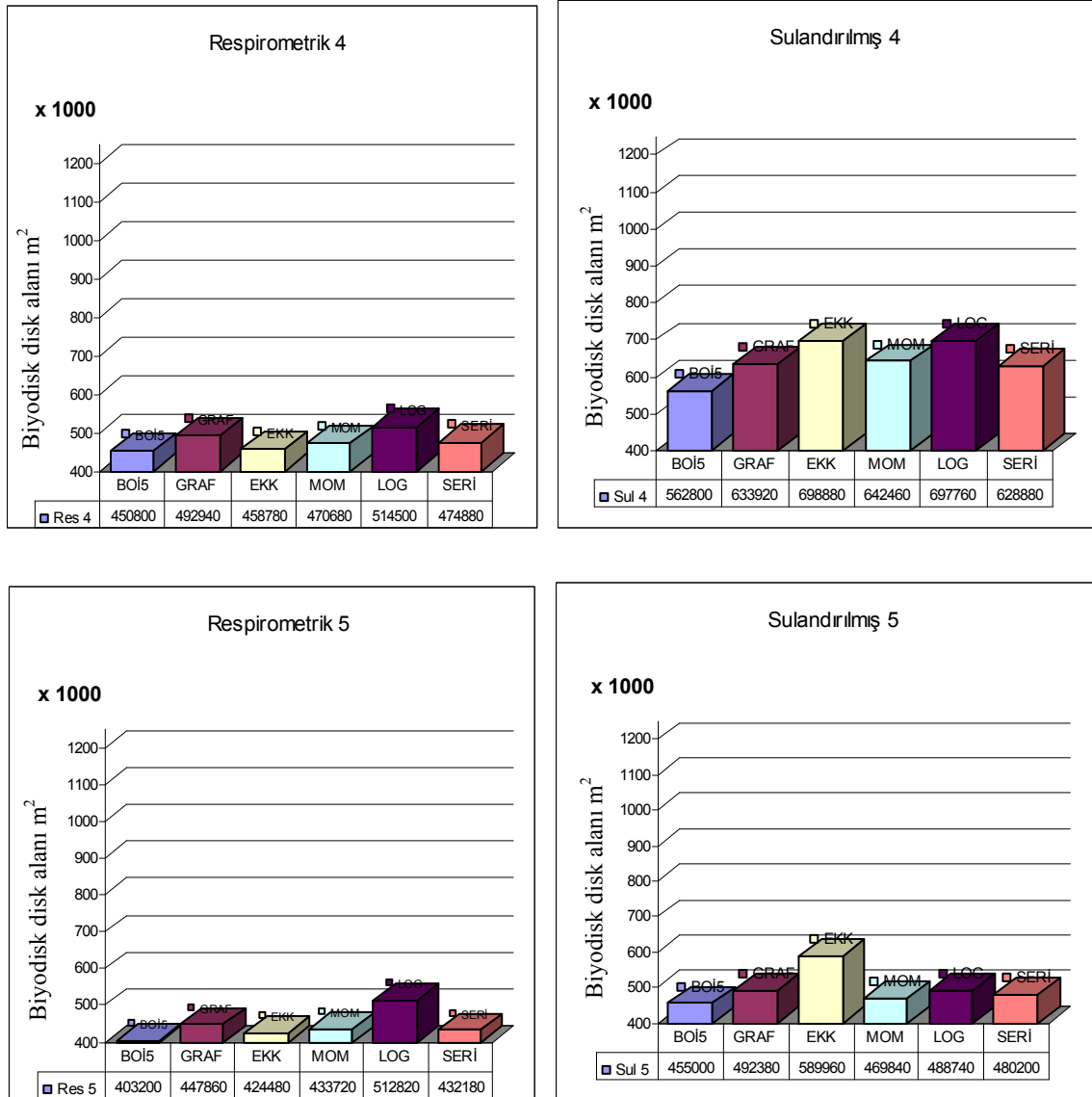


Şekil 37. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin biyodisk ünitelerinin boyutlandırılmasına etkiler



Şekil 38. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin biyodisk tesislerinin boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması

Şekil 38. nin devamı



Şekil 36, 37 ve 38'deki grafikler incelendiğinde biyodisk alanının BOİ değerleriyle orantılı olarak arttığı dolayısıyla sulandırılmış numune değerleriyle hesaplanan biyodisk alanlarının respirometrik değerlerle hesaplanandan büyük olduğu görülmektedir.

3.5. Respirometrik ve Sulandırılmış BOİ Değerleri İçin Mekanik Havalandırılmalı Lagünün Boyutlandırılması

Bölüm 2.5.1.'deki akış diyagramına göre hazırlanan programdan elde edilen sonuçlar respirometrik numuneler için Tablo 39'dan Tablo 43'e kadar olan kısımda, sulandırılmış

numuneler için ise Tablo 44'ten, Tablo 48'e kadar olan kısımda verilmiştir. Ayrıca tabloların karşılaştırma düzlemlerinde grafiksel gösterimleri Şekil 41 Şekil 42 ve Şekil 43'te incelenmiştir. Programın koşturulması ayrıntılı olarak sadece respirometrik 1 numunesinin moment yöntemiyle bulunan değeri için gösterilmiş (Şekil 39, Şekil 40) diğer değerler için sadece sonuçlar verilmiştir.

S_0 : g/m^3 (Giriş BOİ miktarı)

S: g/m^3 (Çıkış BOİ miktarı)

Debi: $35000 m^3 /gün$

V: m^3 (hazne hacmi)

t = gün (haznede tutulma süresi)

Hazne çeşidi: 1 (dikdörtgen hazne kullanılırsa)

Hazne çeşidi: 2 (dairese hazne kullanılırsa)

Hazne derinliği: 5m

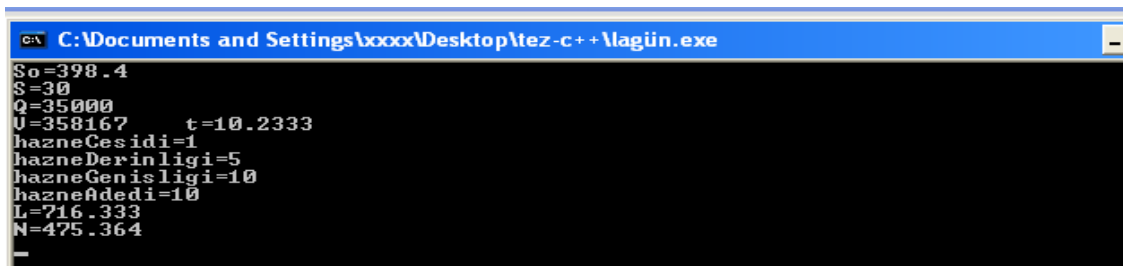
Hazne genişliği: 10m

Hazne adedi: 10

L: m (hazne uzunluğu)

N: hp (beygir gücü)(gereken kompresör gücü)

D: m^2 (hazne çapı)

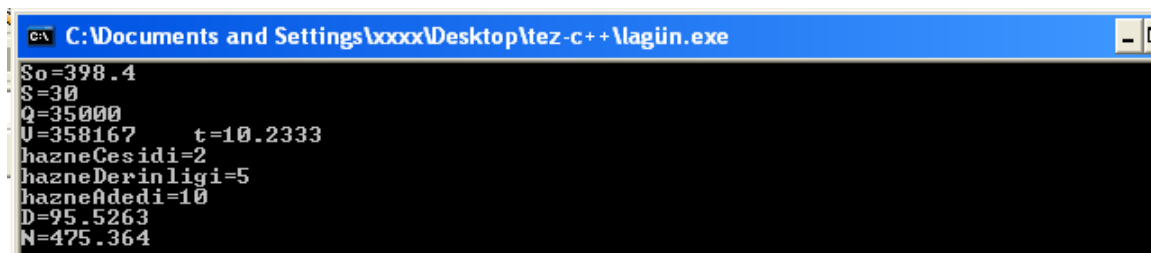


```

C:\Documents and Settings\xxxx\Desktop\tez-c++\lagün.exe
So=398.4
S=30
Q=35000
U=358167    t=10.2333
hazneCesidi=1
hazneDerinligi=5
hazneGenisligi=10
hazneAdedi=10
L=716.333
N=475.364

```

Şekil 39. Dikdörtgen hazne tipi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması



```

C:\Documents and Settings\xxxx\Desktop\tez-c++\lagün.exe
So=398.4
S=30
Q=35000
U=358167    t=10.2333
hazneCesidi=2
hazneDerinligi=5
hazneAdedi=10
D=95.5263
N=475.364

```

Şekil 40. Dairesel hazne tipi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması

Tablo 39. Respirometrik 1 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 1	388	-	-	388,0	30	35000	9,94	348056	696,11	94,17	462,95
	388	Graf.	417,4	417,4	30	35000	10,76	376639	753,27	97,96	498,03
	388	E.K.K	410,8	410,8	30	35000	10,58	370222	740,44	97,12	490,16
	388	Mom.	398,4	398,4	30	35000	10,23	358167	716,33	95,52	475,36
	388	Log.	422,7	422,7	30	35000	10,91	381792	763,58	98,62	504,36
	388	Seri.	416,1	416,1	30	35000	10,72	375375	750,75	97,79	496,48

Tablo 40. Respirometrik 2 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 2	398	-	-	398,0	30	35000	10,22	357778	715,55	95,47	474,88
	398	Graf.	435,9	435,9	30	35000	11,27	394625	789,25	100,27	520,11
	398	E.K.K	415,8	415,8	30	35000	10,71	375083	750,16	97,75	496,12
	398	Mom.	411,7	411,7	30	35000	10,60	371097	742,19	97,23	491,23
	398	Log.	437,4	437,4	30	35000	11,31	396083	792,16	100,45	521,90
	398	Seri.	422,6	422,6	30	35000	10,90	381694	753,39	98,61	504,24

Tablo 41. Respirometrik 3 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 3	346	-	-	346,0	30	35000	8,77	307222	614,44	88,47	412,84
	346	Graf.	380,0	380,0	30	35000	9,72	340278	680,55	93,11	453,41
	346	E.K.K	380,9	380,9	30	35000	9,74	341153	682,30	93,23	454,48
	346	Mom.	365,1	365,1	30	35000	9,30	325792	651,58	91,10	435,63
	346	Log.	393,5	393,5	30	35000	10,09	353403	706,80	94,88	469,51
	346	Seri.	377,7	377,7	30	35000	9,65	338042	676,08	92,80	450,66

Tablo 42. Respirometrik 4 numunesi için mekanik havalandırılmalı lagün boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 4	322	-	-	322,0	30	35000	8,11	283889	567,78	85,04	384,20
	322	Graf.	352,1	352,1	30	35000	8,94	313153	626,30	89,32	420,12
	322	E.K.K	327,7	327,7	30	35000	8,26	289431	578,86	85,87	391,00
	322	Mom.	336,2	336,2	30	35000	8,50	297694	595,39	87,09	401,15
	322	Log.	367,5	367,5	30	35000	9,37	328125	656,25	91,43	438,49
	322	Seri.	339,2	339,2	30	35000	8,58	300611	601,22	87,51	404,72

Tablo 43. Respirometrik 5 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Respirometrik 5	288	-	-	288,0	30	35000	7,16	250833	501,66	79,94	343,63
	288	Graf.	319,9	319,9	30	35000	8,05	281847	563,69	84,74	381,70
	288	E.K.K	303,2	303,2	30	35000	7,58	265611	531,22	82,26	361,77
	288	Mom.	309,8	309,8	30	35000	7,77	272028	544,05	83,25	369,64
	288	Log.	366,3	366,3	30	35000	9,34	326958	653,91	91,26	437,06
	288	Seri.	308,7	308,7	30	35000	7,74	270958	541,91	83,08	368,33

Tablo 44. Sulandırılmış 1 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 1	455	-	-	455,0	30	35000	11,80	413194	826,38	102,60	542,89
	455	Graf.	614,1	614,1	30	35000	16,22	567875	1135,75	120,28	732,73
	455	E.K.K	531,0	531,0	30	35000	13,91	487083	974,16	111,39	633,58
	455	Mom.	547,5	547,5	30	35000	14,37	503125	1006,25	113,22	653,26
	455	Log.	775,1	775,1	30	35000	20,69	724403	1448,81	135,85	924,83
	455	Seri.	505,3	505,3	30	35000	13,20	462097	924,19	108,50	602,91

Tablo 45. Sulandırılmış 2 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 2	460	-	-	460,0	30	35000	11,94	418056	836,11	103,20	548,86
	460	Graf.	719,9	719,9	30	35000	19,16	670736	1341,47	130,72	858,97
	460	E.K.K	679,7	679,7	30	35000	18,04	631653	1263,31	126,85	811,00
	460	Mom.	680,2	680,2	30	35000	18,06	632139	1264,28	126,90	811,60
	460	Log.	1062,8	1062,8	30	35000	28,68	1004110	2008,22	159,94	1268,11
	460	Seri.	651,2	651,2	30	35000	17,25	603944	1207,89	124,04	777,00

Tablo 46. Sulandırılmış 3 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

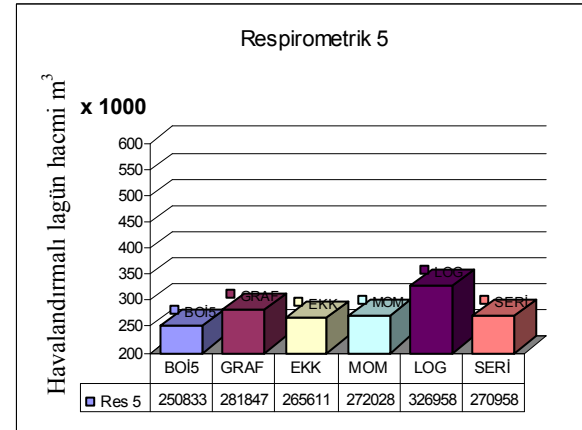
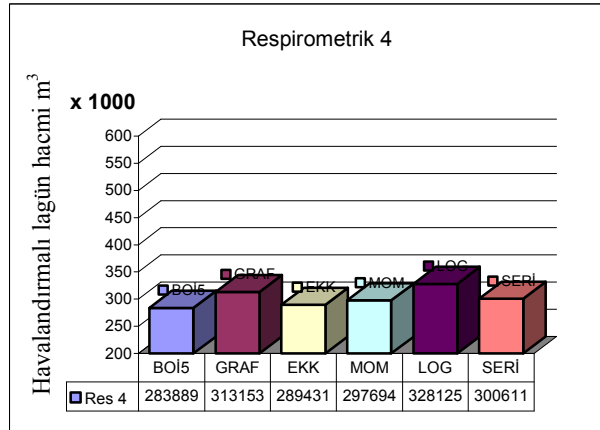
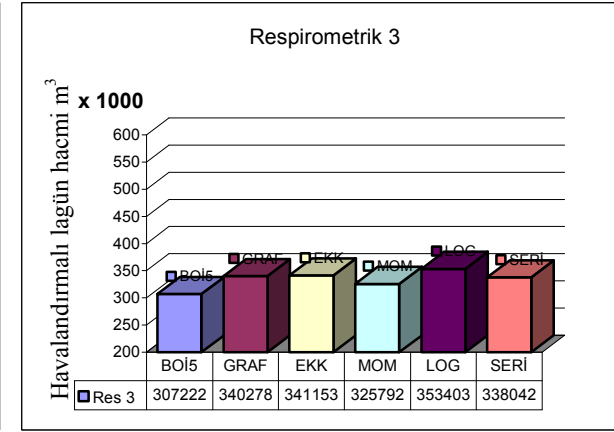
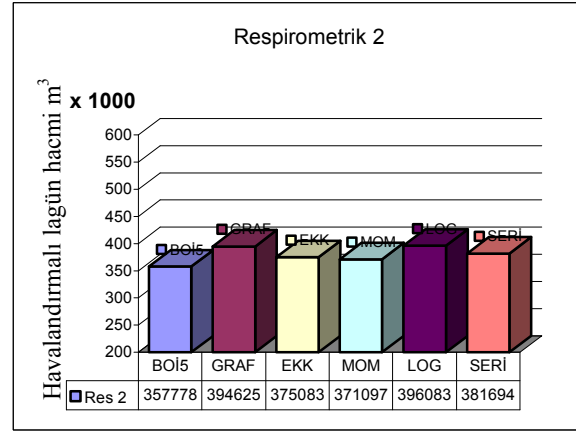
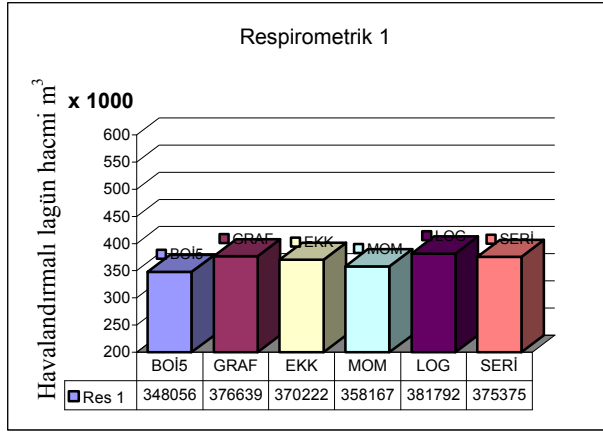
Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 3	450	-	-	450,0	30	35000	11,66	408333	816,66	101,99	536,93
	450	Graf.	499,3	499,3	30	35000	13,03	456264	912,52	107,81	595,75
	450	E.K.K	470,0	470,0	30	35000	12,22	427778	855,55	104,39	560,79
	450	Mom.	472,0	472,0	30	35000	12,27	429722	859,44	104,63	563,18
	450	Log.	512,2	512,2	30	35000	13,39	468806	937,61	109,28	611,14
	450	Seri.	476,2	476,2	30	35000	12,39	433806	867,61	105,13	568,19

Tablo 47. Sulandırılmış 4 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

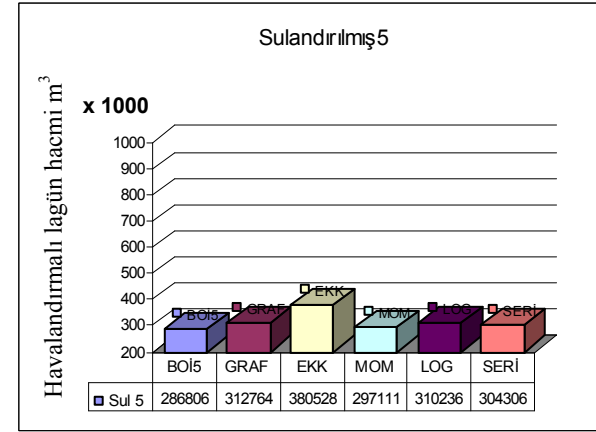
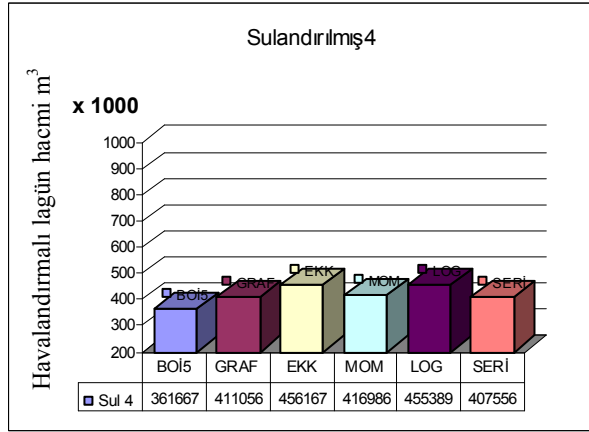
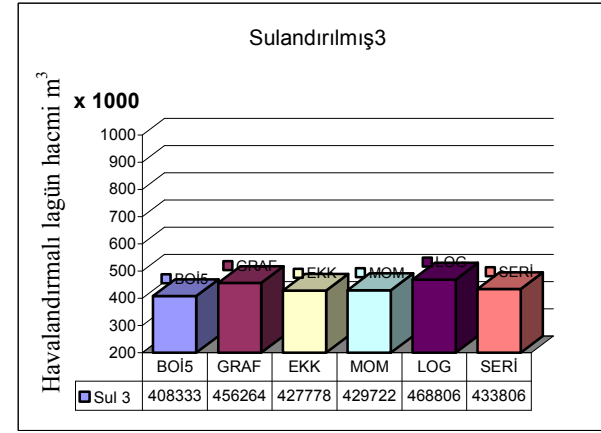
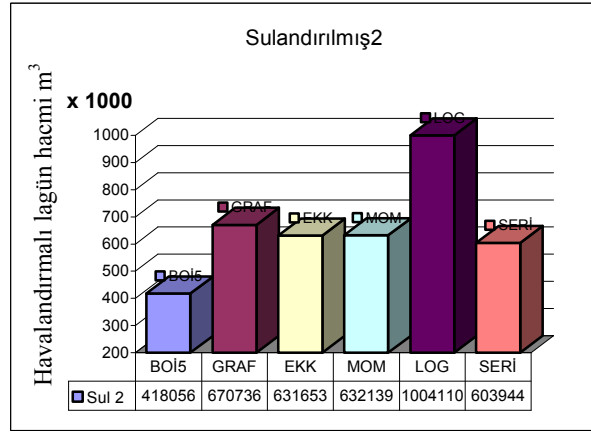
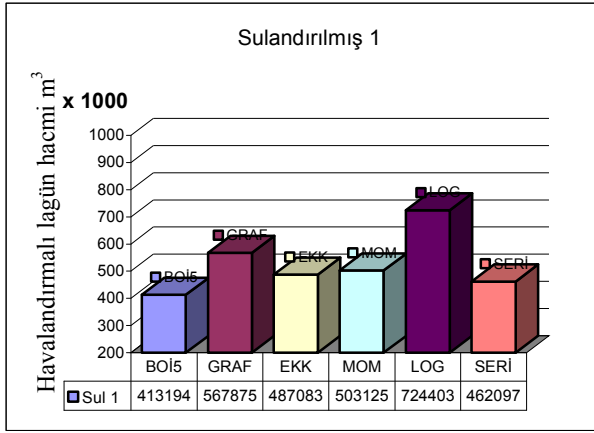
Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 4	402	-	-	402,0	30	35000	10,33	361667	723,33	95,99	479,65
	402	Graf.	452,8	452,8	30	35000	11,74	411056	822,11	102,33	540,27
	402	E.K.K	499,2	499,2	30	35000	13,03	456167	912,33	107,80	595,63
	402	Mom.	458,9	458,9	30	35000	11,91	416986	833,97	103,07	547,55
	402	Log.	498,4	498,4	30	35000	13,01	455389	910,77	107,71	594,68
	402	Seri.	449,2	449,2	30	35000	11,64	407556	815,11	101,90	535,97

Tablo 48. Sulandırılmış 5 numunesi için mekanik havalandırmalı lagün boyutlandırılması

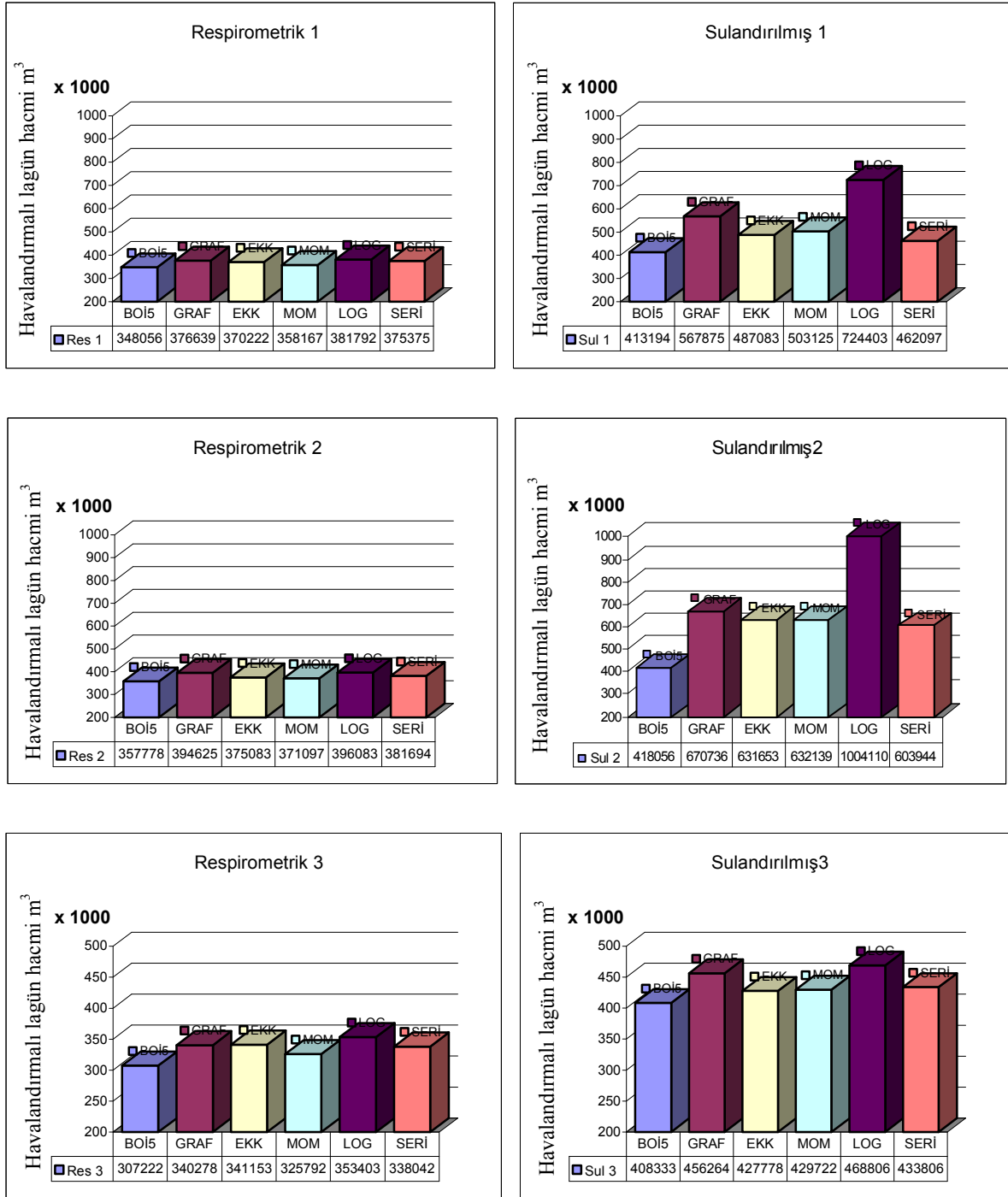
Numune	BOİ ₅ (g/m ³)	Yöntem	BOİ _L (g/m ³)	S ₀ Giriş BOİ' si (g/m ³)	S Çıkış BOİ' si (g/m ³)	Debi (m ³ /gün)	t haznede tutulma süresi (gün)	V Hazne hacmi (m ³)	L dikdörtgen haz. uzun. (5m der.-10m gen.,10 adet) (m)	D dairesel hazne çapı (5m derin.,10 adet) (m ²)	N (kompresör gücü) (hp)
Sulandırılmış 5	325	-	-	325,0	30	35000	8,19	286806	573,61	85,48	387,78
	325	Graf.	351,7	351,7	30	35000	8,93	312764	625,52	89,26	419,64
	325	E.K.K	421,4	421,4	30	35000	10,87	380528	761,05	98,46	502,80
	325	Mom.	335,6	335,6	30	35000	8,48	297111	594,22	87,00	400,43
	325	Log.	349,1	349,1	30	35000	8,86	310236	620,47	88,90	416,54
	325	Seri.	343,0	343,0	30	35000	8,69	304306	608,61	88,05	409,26



Şekil 41. Farklı matematik modellerle elde edilen respirometrik BOİ değerlerinin havalandırılmalı lagün boyutlandırılmasına etkileri

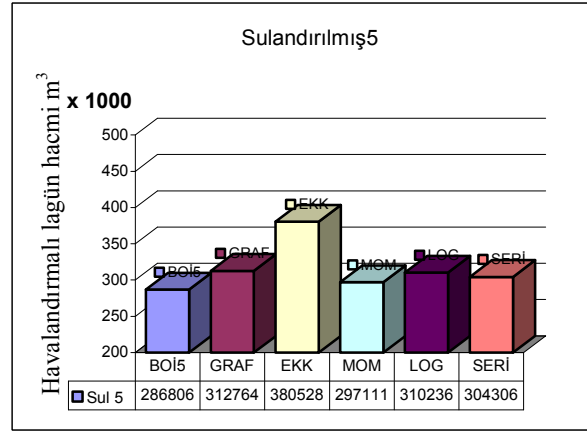
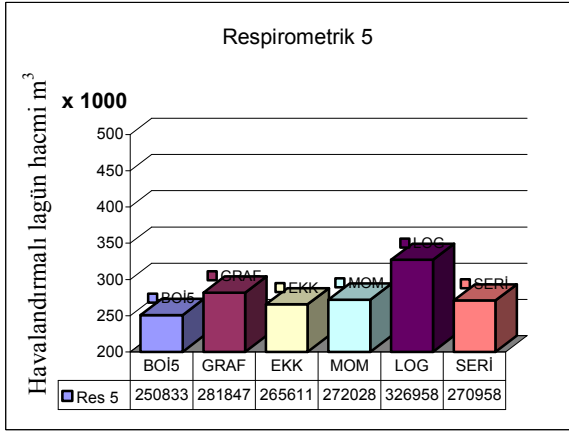
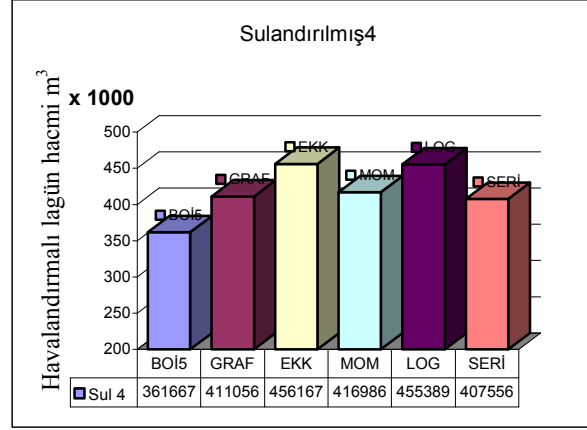
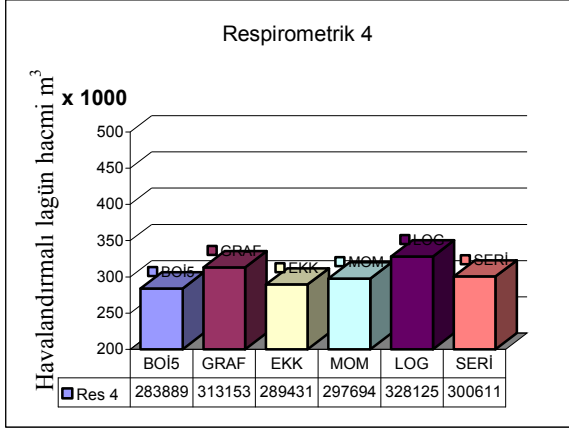


Şekil 42. Farklı matematik modellerle elde edilen sulandırılmış BOİ değerlerinin havalandırılmalı lagün boyutlandırılmasına etkileri



Şekil 43. Respirometrik ve sulandırılmış numunelerin havalandırılmalı lagün boyutlandırılmasına etkilerinin karşılaştırılması

Şekil 43. ün devamı



Grafikler incelendiğinde havalandırılmalı lagün hacminin BOİ değerleriyle arttığı dolayısıyla sulandırılmış numune değerleriyle hesaplanan havalandırılmalı lagün hacminin respirometrik değerlerle hesaplanandan büyük olduğu görülmektedir. Bölüm 2.3 ve 2.5 de hesaplanan aktif çamur ve havalandırılmalı lagün boyutları için hazne hacminde bir karşılaştırma yapıldığında havalandırılmalı lagün için bulunan hazne hacimlerinin aktif çamur tesislerine göre çok büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak havalandırılmalı lagün de geri devir olayının olmaması gösterilebilir. Buradan hareketle bu çalışma için boyutlandırılan havalandırılmalı lagünün daha düşük BOİ değerlerine sahip atık sular için uygun olduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada atık suların biyolojik parametrelerinin değişimleri incelenmiştir. Bu parametre değişimlerine bağlı olarak atık suların arıtılması için arıtma tesislerinin ayrıntılı olarak bilgisayar destekli tasarımları yapılmış ve bu parametre değişimlerinin arıtma tesislerinin boyutlarına etkileri irdelenmiştir. Bu amaçla çalışmanın ilk bölümünde atık suların genel özellikleri, kirlilik dereceleri ve zararlı etkileri hakkında bilgi verilmiş. Bu kirlilik derecesinin en büyük belirleyicilerinden biri olan biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ) tanımı, ölçüm teknikleri (respirometreler ve sulandırma teknikleri) ve toplam BOİ tespitinde kullanılan matematik yöntemlerin (En Küçük Kareler, Log Farklılıklar, Grafıksel Metot, Momentler Metodu ve Seriler Metodu) tanıtılması ile devam eden bölüm atık suların kirlilik derecelerine göre uygulanması gereken arıtma yöntemlerinin anlatılmasıyla sonlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde deneysel (respirometrik ve sulandırılmış) 5 günlük BOİ değerlerinin toplam BOİ'nin tespitinde kullanılan matematik yöntemlerden biri olan seriler metoduna uygulanması ve bulunan sonuçların diğer yöntemlerle elde edilen toplam BOİ ve reaksiyon hız sabiti (k_1) değerleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. 5 günlük BOİ değerleri ($BOİ_5$) ve diğer yöntemlerden elde edilen toplam BOİ değerleri baz alınarak arıtma tesislerinin (aktif çamur, biyodisk ve havalandırılmalı lagün) tasarımları C++ programlama dili kullanılarak yapılmış ve sonuçlar tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.

Yapılan bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- ❖ Bölüm 3.1 de verilen respirometrik ve sulandırılmış BOİ değerlerinin toplam BOİ ve reaksiyon hız sabitinin hesabı için verilen metotlar kullanılarak hesaplanan k ve L değerleri için, literatür de momentler metodunun diğer matematik yöntemlere oranla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- ❖ Seriler metodu ile respirometrik ve sulandırılmış deneysel veriler kullanılarak bulunan k ve L değerlerinin momentler metodu ile bulunan değerlere yakın değerler verdiği görülmüştür. Bu noktadan hareketle seriler metodunun da toplam BOİ hesabında iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.
- ❖ Log farklılıklar yönteminin respirometrik ve sulandırılmış deneysel verilerden hareketle toplam BOİ tespitinde literatürde diğer yöntemlerden büyük değerler verdiği görülmüştür.

❖ Bölüm 2.3 de aktif çamur tesislerinin boyutlandırılmasında tesis respirometrik ve sulandırılmış BOİ değerleri için hem BOİ₅ hem de farklı matematik modellerle bulunan toplam BOİ değerlerine göre yüksek hızlı ve düşük hızlı olarak yüklenmiş, bu yükleme çeşitlerine göre aktif çamur tesislerinin boyutları bulunmuş ve bulunan bu sonuçlar bölüm 3.3'te tablolar halinde ve karşılaştırma düzlemleri ile grafiksel olarak gösterilmiştir. Bulunan bu sonuçlardan hareketle yüksek hızlı tesislerin boyutlarının düşük hızlılara göre daha küçük olduğu görülmüştür. Fakat burada yüksek hızlı tesislerde kısmi arıtmanın, düşük hızlı tesislerde ise tam arıtmanın elde edildiği, yüksek hızlı tesislerde kısmi arıtmanın veriminin % 80'den küçük ve çıkış suyu BOİ₅ değerinin 30 mg/l den büyük, düşük hızlı tesislerde ise arıtma veriminin % 90 ve üzerinde, BOİ₅ değerinin de 20 mg/l'nin altında olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

❖ Bölüm 2.3 de aktif çamur tesislerinin boyutlandırılmasında ayrıca gereken hava miktarları bulunmuş, bu havanın kompresör tarafından sıkıştırılıp basılması için gereken kompresör gücü hesaplanmış ve sonuçlar bölüm 3.3.'te tablolarda verilmiştir. Bulunan değerler karşılaştırıldığında, havalandırma için gereken oksijen BOİ yüküne göre hesaplandığından kompresör gücünde aynı BOİ değeri için düşük hızlı ve yüksek hızlı tesislerde bir değişme olmadığı görülmüştür.

❖ Bölüm 2.4 de biyodisk tesislerinin boyutlandırılmasında tesis respirometrik ve sulandırılmış BOİ değerleri için hem BOİ₅ hem de farklı matematik modellerle bulunan toplam BOİ değerlerine göre boyutlandırılmış ve bulunan sonuçlar bölüm 3.4'te tablolar halinde ve karşılaştırma düzlemleri ile grafiksel olarak gösterilmiştir.

❖ Bölüm 2.5 de havalandırılmalı lagün tesislerinin boyutlandırılmasında tesis respirometrik ve sulandırılmış BOİ değerleri için hem BOİ₅ hem de farklı matematik modellerle bulunan toplam BOİ değerlerine göre boyutlandırılmış ve bulunan sonuçlar bölüm 3.5'te tablolar halinde ve karşılaştırma düzlemleri ile grafiksel olarak gösterilmiştir.

5. ÖNERİLER

❖ Bölüm 2.3, 2.4 ve 2.5 de atık su arıtma tesisleri respirometrik ve sulandırılmış BOİ değerleri için hem BOİ₅ hem de farklı matematik modellerle bulunan toplam BOİ değerlerine göre boyutlandırılmış ve elde edilen tasarım sonuçları bölüm 3.3, 3.4, ve 3.5'te tablolar ve karşılaştırma düzlemleri ile grafiksel olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında tesis boyutlarının BOİ değerleriyle orantılı olarak arttığı görülmüştür. Dolayısıyla atık su arıtma tesisleri boyutlandırılırken deneysel olarak bulunan 5 günlük BOİ₅ değerlerinin değil de toplam BOİ değerlerinin kullanılmasının daha doğru olacağı söylenebilir. Toplam BOİ'nin hesabı için ise diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar veren moment yöntemi ve ona yakın değerler veren seriler yöntemi kullanılabilir.

❖ Bölüm 2.3 ve 2.5 de hesaplanan aktif çamur ve havalandırmalı lagün boyutları için hazne hacminde bir karşılaştırma yapıldığında havalandırmalı lagün için bulunan hazne hacimlerinin aktif çamur tesislerine göre çok büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak havalandırmalı lagün de geri devir olayının olmaması gösterilebilir. Buradan hareketle bu çalışma için boyutlandırılan havalandırmalı lagünün daha düşük BOİ değerlerine sahip atık sular için uygun olduğu söylenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. <http://www.arkasokak.net/arsiv/t-25711.html>, Su Kirliliği ve Etkileri,13 Mart 2008.
2. Muslu, Y., Atık Suların Arıtılması, 1. Baskı, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, 1994.
3. Nemerow,N.L., Liquid Waste of Industry Theories, Practies and Treatment, Addison – Wesley Publishing Company, Canada, 1971.
4. Berkün,M., Toplam Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı ve Reaksiyon Hız Sabiti Değerlerinin Hesabı İçin Yeni Bir Metot, KTÜ İnşaat Fakültesi, Trabzon, 1974.
5. Toprak, H, Atık Su Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Cilt 1, D.E.Ü. Basım Ünitesi, İzmir, 1994.
6. NAS, S.S., Hidrolik ve Biyolojik Parametre Değişimlerinin Akarsularda Su kalitesine ve Arıtma Tesisi Optimizasyonuna Etkileri, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
7. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Fourth Edition, McGraw-Hill, USA, 2003.
8. Berkün, M., Atık Su Arıtma ve Deniz Deşarjı Yapıları, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2006.
9. Berkün, M., Respirometric Measurement of Biochemical Oxygen Demand, Ph. D. Thesis, Birmingham University, 1974.
10. Reed,L.J. and Theriault, E.J., The Statistical Treatment of Reaction Velocity Data, Journal of Physical Chemistry, 35, 950,1931.
11. Fair, G.M., The Log Difference Method of Estimating The Constant Of The First Stage Biochemical Oxygen Demand Curve, Sewage Works Journal, 8, 430, 1936.
12. Thomas, H. A., The Slope Method of Estimating The Constant Of The First Stage Biochemical Oxygen Demand Curve, Sewage Works Journal, 9, 425, 1937.
13. Thomas, H. A., Graphical Determination of BOD Curve Constants, Sewage and Industrial Wastes, 97, 123, 1950.
14. Moore, E.W.,Thomas,H.A. and Snow,W. B., Simplified Method For Analysis of BOD Data, Sewage and Industrial Wastes, 22, 1343, 1950.
15. Marske,D.M. and Polkowski;L.B., Evaluation of Methods Estimating Biochemical Oxygen Demand Parameters, Journal of The Water Polution Control Federation, 44, 1987, 1972.
16. Berkün, M., Respirometric Measurement of Biochemical Oxygen Demand, Ph.D. Thesis, Birmingham University, 1974

17. Berkün, M., Tebbutt, T.H.Y. Respirometric Determination of BOD, Ph.D. Water Research 10, 613-617, G. Britain, 1976.
18. http://www.biokim-aritma.com/Evsel_Nitelikli_Atiksularin_Aritim_Yontemleri.pdf, Evsel Nitelikli Atık Suların Arıtma yöntemleri, 25 Nisan 2008.
19. Özbelge, T., Endüstriyel Atık Su Atırımı, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 1992.
20. Arceivala, S.,J., Çevre Kirliliği Kontrolünde Atık Su Arıtımı, (Çeviren: Balman V.), Tata – McGraw hill, 2002.
21. T.C. Resmi Gazete Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, (19919), 04.09.1988, 13-73.
22. Sundstrom and Klei, Sundstrom, D.W., & Klei, H.E., Water treatment Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall., 1979.
23. T.C. Resmi Gazete, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ile ilgili karar, (19919), 04.09.1988,
24. Uslu, O. ve Türkman, A., Su Kirliliği ve Kontrolü-Water Pollution and Control, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlan Eğitim Dizisi, Ankara, 1987.
25. Dağ, C.M., Çevre Yüksek Mühendisi, Evsel Nitelikli Atık Suların Arıtma yöntemleri,
26. Çalık, A., Çalık, A., Atık Sulardaki Demir(III)-Siyanür Kompleks İyonlarının *R.arrhizus* ve *C.vulgaris* ile Biyosorpsiyonunun Aktif Karbon Adsorpsiyonuyla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Mühendislik Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.
27. Atımtay, A., Yetiş, Ü., Atık Su Özellikleri ve Analizleri, Endüstriyel Atık Su Arıtım Kitabı İçinden, (Editörler; Tanyolaç, A., Çelebi, S.), TMMOB Kimya Mühendisliği Odası Yayınları, Ankara, 1992.
28. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/ucboyut.gif>, Atık Su, 17 Şubat 2008.
29. David, H.F. Liu ve Bela, G. Liptak, Waste Water Treatment, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 2000.

7. EKLER

7.1. C++ Seriler Metoduyla k ve L Hesabı İçin Program

```
#include <stdio.h>
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;

int main(int argc, char *argv[])
{
    double Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, k, L, n;
    cout<<"Y1=";
    cin>>Y1;
    cout<<"Y2=";
    cin>>Y2;
    cout<<"Y3=";
    cin>>Y3;
    cout<<"Y4=";
    cin>>Y4;
    cout<<"Y5=";
    cin>>Y5;
    n=5;
    k=0.3333333333*(0.5*log(Y1/(Y3-Y2))+0.3333333333*log(Y1/(Y4-Y3)) +
    0.25*log(Y1/(Y5-Y4)));
    L=(Y1+Y2+Y3+Y4+Y5)/(n-(exp(-1*k)+exp(-2*k)+exp(-3*k)+exp(-4*k)+exp(-5*k)));

    cout<<"k="<<k<<endl;
    cout<<"L="<<L<<endl;
    cin>>k;
}
```

7.2. C++ da Aktif Çamur Tesislerinin Tasarımı İçin Program

```
#include <stdio.h>
#include <iostream>
#include <math.h>

using namespace std;
```

```

int main(int argc, char *argv[])

{
    double debi, BOI /*g/m3 cinsinden*/, BOIyuklemesi /*g/m3*/, BOIyuku /*g*/, V1
/*BOİ yüküne göre hazne hacmi m3*/, V2 /*havalandırma süresine göre hazne hacmi m3*/,
t /*havalandırma süresi saat*/, L /*hazne uzunluğu m*/, D /*hazne çapı m2*/;
const float PI=3.14;
    cout<<"BOI=";
    cin>>BOI;
    cout<<"BOIyuklemesi=";
    cin>>BOIyuklemesi;
    cout<<"debiyi giriniz=";
    cin>>debi;
    cout<<"t=";
    cin>>t;
    BOIyuku=debi*BOI;
    V1=BOIyuku/BOIyuklemesi;
    V2=(debi*t)/24;
    cout<<"V1="<<V1<<endl;
    cout<<"V2="<<V2<<endl;
{
float hazneCesidi, hazneDerinligi, hazneGenisligi, hazneAdedi, gerekenOksijen,
saglananOksijen, N; /* N=KompresorGucu hp*/;

cout<<"hazneCesidi="; /*hazneCesidi 1=dikdörtgen 2=daire */
cin>>hazneCesidi;

if (hazneCesidi==1)
{cout<<"hazneDerinligi=";
cin>>hazneDerinligi;
cout<<"hazneGenisligi=";
cin>>hazneGenisligi;
cout<<"hazneAdedi=";

```

```

cin>>hazneAdedi;
L=V1/(hazneAdedi*hazneDerinligi*hazneGenisligi);
gerekenOksijen=1.5*BOIyuku/1000; /* hava gereksinimi olarak 1,5 kgO2/kg BOİ yükü */
saglananOksijen=44; /*bir difüzör 4 lb O2/HP/gün. saglananOksijen=4*24 saat/gün=96 lb
O2/HP/gün=44 kg O2/HP/gün*/
N=gerekenOksijen/44; /*birimi HP*/
cout<<"L="<<L<<endl;
cout<<"N="<<N<<endl;
cin>>N;
}

else if(hazneCesidi==2)
{
cout<<"hazneDerinligi=";
cin>>hazneDerinligi;
cout<<"hazneAdedi=";
cin>>hazneAdedi;

D=pow(((V1*4)/(hazneAdedi*hazneDerinligi*PI)),0.5);
gerekenOksijen=1.5*BOIyuku/1000; /* hava gereksinimi olarak 1,5 kgO2/kg BOİ yükü */
saglananOksijen=44; /*bir difüzör 4 lb O2/HP/gün.saglananOksijen=4*24 saat/gün=96 lb
O2/HP/gün=44 kg O2/HP/gün*/
N=gerekenOksijen/44; /*birimi HP*/
cout<<"D="<<D<<endl;
cout<<"N="<<N<<endl;
cin>>N;

}

else
{
cout<<"hatali secim 1 veya 2 girilmeli"<<endl;

}

```

```

int a;
cin>>a;
return 0;
}
cin>>BOI;
}

```

7.3. C++ da Biyodisk Tasarımı için Program

```

#include <stdio.h>
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;

int main(int argc, char *argv[])
{int saftSayisi;
Double debi /*m3/gün*/, sBOI /*g/m3*/, BOI /*g/m3*/, sBOIyuku, gerekenDiskAlani,
diskAlani;

cout<<"debi=";
cin>>debi;
cout<<"BOI=";
cin>>BOI;

sBOI=0.6*BOI; /*sBOI/BOI oranı 0,5 ile 0,75 arasında değişir. Burada 0,6 olarak
alınmıştır*/
cout<<"sBOI="<<sBOI<<endl;
sBOIyuku=sBOI*debi;
gerekenDiskAlani=sBOIyuku/15; /*1. grub RBC saft sayısının hesaplanması 1. grupta
maks sBOI=15g/m2.gün varsayılarak*/
cout<<"gerekenDiskAlani="<<gerekenDiskAlani<<endl;

```

```
cout<<"diskAlani sec ="; /*standart olarak 9300 m2 lik disk alanı kullanılır. Fakat bu
debiye ve BOİ yüküne göre 16700 m2 ye kadar büyüyebilir*/
```

```
cin>>diskAlani;
```

```
saftSayisi=ceil((gerekenDiskAlani/diskAlani));
```

```
cout<<"saftSayisi="<<saftSayisi<<endl;
```

```
{int uniteSayisi,Q /*her üniteye gelen debi*/;
```

```
double S0, S1, S2, S3, S4, S5, S6, BirinciGrupOrgYuk /*g sBOİ/m2.gün*/,  
ToplamOrganikYuk /*g BOİ/m2.gün*/;
```

```
cout<<"uniteSayisi sec=";
```

```
cin>>uniteSayisi;
```

```
S0=sBOI;
```

```
Q=debi/uniteSayisi;
```

```
S1=(-1+sqrt(1+4*0.00974*(diskAlani/Q)*S0))/(2*0.00974*(diskAlani/Q));
```

```
S2=(-1+sqrt(1+4*0.00974*(diskAlani/Q)*S1))/(2*0.00974*(diskAlani/Q));
```

```
S3=(-1+sqrt(1+4*0.00974*(diskAlani/Q)*S2))/(2*0.00974*(diskAlani/Q));
```

```
S4=(-1+sqrt(1+4*0.00974*(diskAlani/Q)*S3))/(2*0.00974*(diskAlani/Q));
```

```
S5=(-1+sqrt(1+4*0.00974*(diskAlani/Q)*S4))/(2*0.00974*(diskAlani/Q));
```

```
S6=(-1+sqrt(1+4*0.00974*(diskAlani/Q)*S5))/(2*0.00974*(diskAlani/Q));
```

```
cout<<"S1="<<S1<<" S2="<<S2<<" S3="<<S3<<" S4="<<S4<<" S5="<<S5<<"
```

```
S6="<<S6<<endl<<endl;
```

```
BirinciGrupOrgYuk=(debi*sBOI)/(uniteSayisi*diskAlani);
```

```
ToplamOrganikYuk=(debi*BOI)/(uniteSayisi*saftSayisi*diskAlani);
```

```
cout<<"BirinciGrupOrgYuk="<<BirinciGrupOrgYuk<<endl<<endl;
```

```
cout<<"ToplamOrganikYuk="<<ToplamOrganikYuk<<endl<<endl;
```

```
if (S6<10)
```

```
{ cout<<"tasarım yeterlidir"<<endl;
```

```
cin>>S6;
```

```
}
```

```
else
```

```
{
```

```

cout<<"grup sayisini artir"<<endl;
cin>>S6;
}
}
int a;
cin>>a;
}

```

7.4. C++ da Mekanik Havalandırmalı Lagün Tasarımı için Program

```

#include <stdio.h>
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main(int argc, char *argv[])
{
double So /* girişteki BOİ g/m3*/, S /*çıkıştaki BOİ g/m3*/, Kt /*parçalanma hız sabiti
20 °C için Kt=1,20 gün-1*/, Q /*debi m3/gün*/, t /*gün*/, V /*hacim m3*/, BOİyuku
/*gram*/, L /*hazne uzunluğu m*/, D /*hazne çapı m2*/;
const float PI=3.14;
cout<<"So=";
cin>>So;
S=30;
Kt=1.20;
Q=40000;
t=(So-S)/(S*Kt);
V=t*Q;
cout<<"V="<<V<<endl;
{
float hazneCesidi, hazneDerinligi, hazneGenisligi, hazneAdedi, gerekenOksijen,
saglananOksijen, N; /* N=KompresorGucu*/;
cout<<"hazneCesidi="; /*hazneCesidi 1=dikdörtgen 2=daire */
cin>>hazneCesidi;

```

```

if (hazneCesidi==1)
{cout<<"hazneDerinligi=";
cin>>hazneDerinligi;
cout<<"hazneGenisligi=";
cin>>hazneGenisligi;
cout<<"hazneAdedi=";
cin>>hazneAdedi;
L=V/(hazneAdedi*hazneDerinligi*hazneGenisligi);
BOIyuku=Q*So;
gerekenOksijen=1.5*BOIyuku/1000; /* hava gereksinimi olarak 1,5 kgO2/kg BOI yükü */
saglananOksijen=44; /*bir difüzör 4 lb O2/HP/gün.saglananOksijen = 4*24 saat/gün=96 lb
O2/HP/gün=44 kg O2/HP/gün*/
N=gerekenOksijen/44; /*birimi HP*/
cout<<"L="<<L<<endl;
cout<<"N="<<N<<endl;
cin>>N;
}
else if(hazneCesidi==2)
{
cout<<"hazneDerinligi=";
cin>>hazneDerinligi;
cout<<"hazneAdedi=";
cin>>hazneAdedi;
D=pow(((V*4)/(hazneAdedi*hazneDerinligi*PI)),0.5);
gerekenOksijen=1.5*BOIyuku/1000; /* hava gereksinimi olarak 1,5 kgO2/kg BOI yükü */
saglananOksijen=44; /*bir difüzör 4 lb O2/HP/gün.saglananOksijen=4*24 saat/gün=96 lb
O2/HP/gün=44 kg O2/HP/gün*/
N=gerekenOksijen/44; /*birimi HP*/
cout<<"D="<<D<<endl;
cout<<"N="<<N<<endl;
cin>>N;
}
else

```

```
{  
cout<<"hatali secim 1 veya 2 girilmeli"<<endl;  
}  
int a;  
cin>>a;  
return 0;  
}  
cin>>So;  
}
```


ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Gümüşhane ili Torul İlçesi Yalınkavak köyünde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2001 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'nde başladığı lisans eğitimini 2005 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. İlk yıl İngilizce hazırlık programına katıldı. Rahim ŞİBİL İngilizce bilmektedir.