



**BURSA İLİ KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİ
PERFORMANSLARININ İSTATİSTİKSEL OLARAK
DEĞERLENDİRİLMESİ**
Ayşe GÜNEŞ ÇEPNİ



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA İLİ KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİ
PERFORMANSLARININ İSTATİSTİKSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ayşe GÜNEŞ ÇEPNİ

Yrd. Doç. Dr. Arzu TEKSOY
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA 2017

TEZ ONAYI

Ayşe GÜNEŞ ÇEPNİ tarafından hazırlanan “Bursa İli Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri Performanslarının İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Arzu TEKSOY

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Arzu TEKSOY
Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

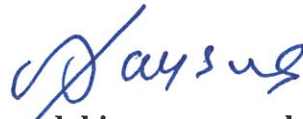
Üye: Prof. Dr. Ufuk ALKAN
Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye: Yrd. Doç. Dr. Aşkın BİRGÜL
Bursa Teknik Ü. Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi,
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı


İmza

İmza

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım
Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü
11.02.2017

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.



.././.....

İmza

Ad ve Soyadı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BURSA İLİ KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSLERİ PERFORMANSLARININ İSTATİSTİKSEL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayşe GÜNEŞ ÇEPNİ

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Arzu TEKSOY

Bursa İli; Türkiye'nin demografik açıdan en yoğun kentlerinden biri olup endüstriyel alanda da gelişmiş bir yapıya sahiptir. Şehrin Doğu ve Batı atıksu havzasındaki kentsel atıksularının arıtımı; Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri ile gerçekleştirilmektedir. Her iki tesiste ileri biyolojik arıtma prosesleri uygulanmakta olup tesislerde azot ve fosfor giderimi de gerçekleştirilmektedir.

Atıksu arıtma tesislerinin işletiminde değişken ve dinamik bir yapı söz konusu olduğundan verilerin analizi, prosesi anlama ve işletim kaynaklı hataları kontrol etme açısından birtakım faydalar sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında 2009-2013 yılları arasındaki mevsim değişimlerinin Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri giriş ve çıkış atıksuyunda ölçülen; pH, iletkenlik, BOİ₅ (biyokimyasal oksijen ihtiyacı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), AKM (askıda katı madde), toplam azot (TN) ve toplam fosfor (TP) gibi parametrelere etkileri belirlenmiştir. Giderim verimleri kullanılarak mevsimlere göre tesis verimliliğinde farklılık olup olmadığı araştırılmıştır. Ayrıca seçilen parametrelerin giderim verimlerinin yıllara göre değişimleri istatistiksel olarak test edilerek arıtma tesislerinin performansları değerlendirilmiştir.

Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle incelenmiştir. Varyansların homojenliğini araştırmak için homojenlik testi yapılmıştır. Verilerin normal dağılım göstermemesinden dolayı parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmıştır. Gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal-Wallis H testi ile Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Çoklu karşılaştırmalarda Bonferroni düzeltmesi yapılmıştır. Anlamlılık düzeyi olarak $\alpha=0,05$ alınmıştır. İstatistiksel analizler için SPSS (Statistical Package for the Social Sciences); analizlerin kutu-bıyık diyagramları ile grafiksel olarak gösterilmesi amacıyla MİNİTAB istatistik paket programları kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyolojik atıksu arıtımı, mevsimsel değişim, arıtma verimliliği, istatistiksel analiz, nonparametrik analiz yöntemleri, Kruskal-Wallis H testi, Mann-Whitney U testi

2017, ix+112 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EVALUATION OF BURSA MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS PERFORMANCES BY STATISTICAL METHODS

Ayşe GÜNEŞ ÇEPNİ

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Arzu TEKSOY

Bursa is one of the most densely populated cities in Turkey and it has many industrial production areas. Wastewater which comes from the east and the west parts of the city, is depurated by either Bursa East or Bursa West Wastewater Treatment Plants. Both plants use advanced biological treatment processes and are capable of removing nitrogen and phosphor from wastewater.

Since the operating system of wastewater treatment plants is flexible and dynamic, data analysis helps to understand the process and to check the operational mistakes. In this thesis, effect of seasonal changes on plant performance between 2009 and 2013 were analyzed in terms of pH, conductivity, BOD₅ (biochemical oxygen demand), COD (chemical oxygen demand), AKM (suspended solids), total nitrogen TN) and total phosphorus (TP) values measured from influent and effluent waters. It was investigated whether there is a difference in plant efficiency according to the seasons using the recovery efficiencies. In addition, treatment efficiency of the plants were tested statistically in order to compare plant performances through years.

Variables were tested by Shapiro-Wilk method for normal distribution and homogeneity of variances were tested by homogeneity test. Non-parametric statistical tests were used because the data did not show normal distribution. Kruskal-Wallis H and Mann-whitney U tests were used to compare groups. Bonferroni correction was applied before multiple comparisons. Significance level was accepted as $\alpha=0,05$. SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) was used for statistical analysis, MINITAB software was used for boxplot diagrams.

Key words: Biological wastewater treatment, seasonal change, water treatment efficiency, statistical analysis, nonparametric test methods, Kruskal-Wallis H test, Mann-whitney U test

2017, ix+112 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında, bilgi ve tecrübesiyle bana destek olan ve çalışmalarına yön veren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Arzu TEKSOY'a, istatistik çalışmalarında yardımcı olan Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyoistatistik Anabilim Dalında görev yapan Prof. Dr. İlker ERCAN'a, tez çalışmamı destekleyen aynı zamanda birlikte çalıştığım BUSKİ Havza Koruma Daire Başk. V. Dr. İpek Diğdem YOLCU ve Birim Sorumlusu Erdiñ ÇINGAY'a, arıtma tesisleri ile ilgili verdikleri bilgiler için Su Arıtma ve İşletme Daire Başkanlığı'nda görev yapmakta olan Daire Başkanı Devrim İZGİ, Şube Müdürü Nurcan AYDOĞAN, çevre mühendisleri Sinem ZENGİNAY ve Murat EFE'ye, tesis sorumlusu İdris VARDAR'a ve birlikte çalıştığım iş arkadaşlarıma en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Anısı daima benimle olan sevgili babam Mustafa Niyazi GÜNEŞ'e, sevgili annem Nazife GÜNEŞ'e, canım kardeşlerim Fatih ve Yavuzhan GÜNEŞ'e, tez çalışmama sağladığı katkı ve desteğinden dolayı kıymetli eşim Abdülkadir ÇEPNİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Ayşe GÜNEŞ ÇEPNİ

...../...../.....

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Atıksuyu Oluşturan Bileşenler ve Atıksu Karakteristikleri.....	5
2.2. Kentsel Atıksular.....	7
2.3. Arıtma Sistemlerinin Seçimi ve Kentsel Atıksu Arıtımı.....	9
2.4. Biyolojik Arıtma Prosesleri.....	14
2.5. Kentsel Atıksu Arıtımı ile İlgili Yasal Çerçeve.....	22
2.6. Bursa Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri.....	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
3.1. Atıksu Numunelerinin Toplanması ve Analiz Edilmesi.....	35
3.2. Ölçüm Parametreleri.....	36
3.3. Veri Analizi.....	38
3.4. Veri Analizinde Yöntem Seçimi.....	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	46
4.1. Atıksuda Ölçülen Parametrelerin Mevsimsel Değişime Göre İncelenmesi.....	46
4.1.1. pH.....	51
4.1.2. İletkenlik.....	53
4.1.3. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	54
4.1.4. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	56
4.1.5. Askıda katı madde (AKM)	58
4.1.6. Toplam azot (TN)	59
4.1.7. Toplam fosfor (TP)	61
4.2. Arıtma Tesisi Verimlerinin Mevsimsel Değişimi.....	62
4.2.1. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	66
4.2.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	71
4.2.3. Askıda katı madde (AKM)	73
4.2.4. Toplam fosfor (TP)	75
4.2.5. Toplam azot (TN)	78
4.3. Arıtma Tesisi Verimlerinin Yıllara Göre Değişimi.....	81
4.3.1. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ ₅)	86
4.3.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	89
4.3.3. Askıda katı madde (AKM)	93
4.3.4. Toplam fosfor (TP)	97

4.3.5. Toplam azot (TN)	100
5. SONUÇ.....	104
KAYNAKLAR.....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	112



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

α , P	İstatistiksel anlamlılık seviyeleri
N, n	Veri sayısı

Kısaltmalar

Açıklama

AAT	Atıksu Arıtma Tesisi
A.Ç.	Aktif çamur
AKM	Askıda Katı Madde
BOİ ₅	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
E.N.	Eşdeğer Nüfus
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
K-W	Kruskal Wallis Testi
NH ₃ -N	Amonyak azotu
Max	Maksimum
Min	Minimum
PAO	Fosfor biriktiren organizmalar (Phosphorus accumulating organisms)
Sig.	Significance
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TN	Toplam Azot
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
UYA	Uçucu yağ asidi

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Bardenpho prosesi.....	20
Şekil 2.2. Beş kademeli Bardenpho sistemi akım şeması	21
Şekil 2.3. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri	26
Şekil 2.4. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri akım şeması	29
Şekil 2.5. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi genel görünümü	30
Şekil 2.6. Batı Atıksu Arıtma Tesisi genel görünümü	31
Şekil 4.1. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu pH değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....	53
Şekil 4.2. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış iletkenlik değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....	54
Şekil 4.3. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu BOİ ₅ değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....	56
Şekil 4.4. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu KOİ değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....	57
Şekil 4.5. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu AKM değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....	59
Şekil 4.6. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu TN değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....	60
Şekil 4.7. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu TP değerlerinin mevsimlere göre değişimi.....	62
Şekil 4.8. Doğu AAT’de BOİ ₅ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi.....	67
Şekil 4.9. Batı AAT’de BOİ ₅ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi....	68
Şekil 4.10. Doğu AAT’de KOİ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi	72
Şekil 4.11. Batı AAT’de KOİ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi...	73
Şekil 4.12. Doğu AAT’de AKM giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi.....	74
Şekil 4.13. Batı AAT’de AKM giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi	75
Şekil 4.14. Doğu AAT’de TP giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi...	76
Şekil 4.15. Batı AAT’de TP giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi.....	77
Şekil 4.16. Doğu AAT’de TN giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi..	79
Şekil 4.17. Batı AAT’de TN giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi....	80
Şekil 4.18. Doğu ve Batı AAT’de BOİ ₅ giderim verim oranları.....	87
Şekil 4.19. Doğu ve Batı AAT’de BOİ ₅ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	87
Şekil 4.20. Doğu AAT’de BOİ ₅ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi	88
Şekil 4.21. Batı AAT’de BOİ ₅ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi..	89
Şekil 4.22. Doğu ve Batı AAT’de KOİ giderim verim oranları.....	90
Şekil 4.23. Doğu ve Batı AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	91
Şekil 4.24. Doğu AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	92
Şekil 4.25. Batı AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi...	93

Şekil 4.26. Doğu ve Batı AAT’de AKM giderim verim oranları.....	94
Şekil 4.27. Doğu ve Batı AAT’de AKM giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	95
Şekil 4.28. Doğu AAT’de AKM giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	96
Şekil 4.29. Batı AAT’de AKM giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	97
Şekil 4.30. Doğu ve Batı AAT’de TP giderim verim oranları.....	98
Şekil 4.31. Doğu ve Batı AAT’de TP giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	98
Şekil 4.32. Doğu AAT’de TP giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi...	99
Şekil 4.33. Batı AAT’de TP giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	100
Şekil 4.34. Doğu ve Batı AAT’lerde TN giderim verim oranları.....	101
Şekil 4.35. Doğu ve Batı AAT’lerde TN giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	101
Şekil 4.36. Doğu AAT’de TN giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi...	102
Şekil 4.37. Batı AAT’de TN giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Atıksu bileşenleri.....	6
Çizelge 2.2. Evsel atıksudaki bileşen oranları.....	7
Çizelge 2.3. Ham evsel atıksudaki kirletici konsantrasyonları.....	9
Çizelge 2.4. Atıksu arıtımındaki önemli biyolojik arıtma prosesleri.....	16
Çizelge 2.5. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri.....	23
Çizelge 2.6. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtıma ilişkin deşarj limitleri.....	24
Çizelge 2.7. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi işletme özet çizelgesi.....	27
Çizelge 2.8. Batı Atıksu Arıtma Tesisi işletme özet çizelgesi.....	28
Çizelge 2.9. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri ham atıksu debi ve kirlilik yükleri.....	28
Çizelge 2.10. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri arıtılmış çıkış suyu özellikleri.....	29
Çizelge 3.1. Normallik Testi.....	42
Çizelge 3.2. Homojenlik Testi.....	43
Çizelge 4.1. Doğu AAT'ye gelen ham atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması.....	47
Çizelge 4.2. Doğu AAT'den çıkan atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması.....	48
Çizelge 4.3. Batı AAT'ye gelen ham atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması.....	49
Çizelge 4.4. Batı AAT'den çıkan atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması.....	50
Çizelge 4.5. Doğu AAT'de ölçülen verimlerin mevsimlere göre karşılaştırılması.....	63
Çizelge 4.6. Batı AAT'de ölçülen verimlerin mevsimlere göre karşılaştırılması....	64
Çizelge 4.7. Doğu ve Batı AAT verimlerinin karşılaştırılması.....	82
Çizelge 4.8. Doğu ve Batı AAT verimlerinin yıllık düzeyde karşılaştırılması.....	83
Çizelge 4.9. Doğu AAT verimlerinin tesis içerisinde yıllara göre karşılaştırılması	84
Çizelge 4.10. Batı AAT verimlerinin tesis içerisinde yıllara göre karşılaştırılması.	85

1. GİRİŞ

Dünyadaki toplam su miktarının % 1'i; göller, akarsular ve tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Suların kullanılabilir olan bu kısmı da büyük ölçüde insan faaliyetleri sonucunda kirlenmektedir. Hızlı nüfus artışı ve endüstrileşme sonucunda oluşan atıksular, doğanın özümleyebileceği miktarı aşmış ve alıcı ortamları kirlenme tehlikesi ile karşı karşıya bırakmıştır (<http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum05.pdf>, 2005). Sonuç olarak, toplumların gelişimini teminat altına alma ihtiyacı ve gittikçe kısıtlayıcı bir hal alan su mevzuatları gereğince; sıhhi tesisat sistemleriyle bağlantılı nüfus yüzdesi, kentsel atıksu arıtma tesislerinin sayısı ve gerekli arıtım seviyeleri Avrupa'da ve dünya çapında büyümektedir (Silva ve ark. 2014).

İnsan yaşamının vazgeçilmez unsuru olan su kaynaklarının korunarak gelecek nesillere sağlıklı ve temiz olarak bırakılması kaçınılmazdır. Çok çeşitli kullanım amaçlarına hizmet eden su kaynaklarının kirlenmesinde, evsel ve endüstriyel atıksular en önemli paya sahiptir. Doğadaki ekolojik dengeyi olumsuz etkileyip suyun faydalı kullanımlarına engel olacak durumların önüne geçebilmek amacıyla atıksuların uzaklaştırmadan önce arıtılması bir mecburiyet halini almıştır. Bu amaçla yerleşim bölgelerine atıksu arıtma tesisleri kurulmakta olup evsel ve endüstriyel atıksular, bir kanal sistemi ve terfi merkezi vasıtasıyla bu tesislere ulaştırılırlar (Samsunlu 2006).

Atıksular; suyun evlerde, sanayide ve ticari faaliyetlerde kullanılması sonucu kirlenmesiyle oluşur. Oluşan bu atıksuya sızıntı suyu, yüzeysel sular ve yağmur suları karışabilir. Eğer herhangi bir işleme tabi tutulmamış sıvı atıklar doğaya bırakılırsa içerdiği organik maddenin ayrışması sonucu ortaya kötü kokulu gazlar çıkar. Ayrıca arıtılmamış atıksu, hastalık yapan mikroorganizmaları, besi maddeleri (azot, fosfor) ve tehlikeli maddeleri de ihtiva eder. Bu nedenle atıksuların arıtılarak bu maddelerin giderilmesi veya azaltılması gerekir (Samsunlu 2006). Atıksu arıtma tesisleri; evsel ve endüstriyel bölgelerden ulaşan organik ve inorganik mikrokirleticilerin bulunduğu kompleks karışımları içeren atıksuların arıtılarak çevreye etki etmeyecek biçimde konsantrasyonlarının azaltılması işlevini görmektedir (European-Communities 2001).

Atıksuların özellikleri kaynaklarına bağılı olarak önemli farklılıklar gösterir ve bu farklılıklara göre arıtma yöntemleri de değişir. Atıksuların genellikle %99'undan daha yüksek bir kısmı su, geri kalan kısmı da kirletici maddelerden oluşmaktadır. Kirleticiler suyun içinde çözülmüş halde bulunabilecekleri gibi, katı madde olarak askıda da bulunabilirler. Bu maddelerin özelliklerine göre uzaklaştırılmaları için kullanılacak arıtma yöntemi de değişmektedir (<http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana58/bolum05.pdf>, 2005).

Evsel atıksuları arıtma işlemi; mekanik, kimyasal ve biyolojik proseslerden oluşan arıtma kademelerinde gerçekleştirilir. Birinci kademe arıtma, mekanik ve fiziksel proseslerden oluşur ve bu işlemler sonucunda yüzen, çökebilir maddeler ayrışır. İkinci kademe, biyolojik proseslerden oluşur ve biyolojik, kimyasal reaksiyonlar sonucu organik maddelerin büyük çoğunluğu ayrışır. Üçüncü kademe, ileri arıtma prosesleridir ve önceki kademelerde arıtılmayan maddeler (inert maddeler) ile yeteri kadar arıtılmamış azot ve fosfor giderilir.

Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuları ile çamur karakteristiklerinin izlenmesi; yeni arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi, etkin bir atıksu arıtımının uygulanması ve çamur yönetimine çözümler geliştirilmesi açısından oldukça önemlidir (Salihoğlu 2012). Atıksu arıtma tesislerinin işletimi değişken ve dinamik bir yapıya sahip olduğundan veri analizi, prosesi anlama ve işletim kaynaklı hataları kontrol etme gibi birtakım faydalar sağlamaktadır. Arıtılmış suda ölçülen parametreler; hava şartları, mikroorganizmaların yapısı, atıksu karakteri ve işletme şartları gibi faktörlerden etkilenebilmektedir (Erden 2007). Atıksuyun kirliliği genel olarak toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), askıda katı madde (AKM), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi parametrelerin değerlerine bağılı olarak belirlenir (Samsunlu 2006).

Bursa'nın en büyük arıtma kapasiteli iki atıksu arıtma tesisi olan Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri, kentsel atıksuların alıcı ortamları kirletmesinin önlemesi amacıyla işletilmektedir. Ön arıtma kısımları 1998 yılında, ileri biyolojik arıtma üniteleri 2006 yılının nisan ayında işletmeye alınmıştır. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi 240 000 m³/gün, Batı Atıksu Arıtma Tesisi 87 500 m³/gün kapasitelidir. Her iki tesiste ileri biyolojik

arıtma prosesleri uygulanmakta olup tesislerde azot ve fosfor giderimi de gerçekleştirilmektedir.

Bursa'da evsel atıksuların arıtılması amacıyla Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) bünyesinde işletilen diğer tesisleri sıralayacak olursak:

- Doğu Atıksu Arıtma Tesisi
- Batı Atıksu Arıtma Tesisi
- Gemlik Ön Arıtma ve Derin Deniz Deşarjı Tesisi
- Küçük Kumla Ön Arıtma Tesisi ve Derin Deniz Deşarjı Tesisi
- Karacali Paket Atıksu Arıtma Tesisi
- Narlı Paket Atıksu Arıtma Tesisi
- Hasanağa Paket Atıksu Arıtma Tesisi
- Mudanya Ön Arıtma ve Derin Deniz Deşarjı Tesisi
- Kurşunlu Derin Deniz Deşarjı Tesisi

Bunların yanı sıra, katı atık deponi sahasından kaynaklanan süzüntü sularının arıtılması için Hamitler Süzüntü Suyu Arıtma Tesisi bulunmaktadır. Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren 6360 Sayılı "On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması İle Bazı Kanun ve Kanun Hükmündeki Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun"un 2. ve 6. Maddesinde, Büyükşehir Belediyelerinin sınırlarının il mülki sınırları olduğu belirtilmektedir. Buna istinaden 01.04.2014 tarihinden sonra Bursa'da yer alan ilçeler de hizmet sınırına dahil olduktan sonra Karacabey Atıksu Arıtma Tesisi ve İnegöl Yenice Atıksu Arıtma Tesisi de, atıksu arıtma tesisleri arasında yerini almıştır. Orhangazi, Orhaneli, İznik ve Yenişehir Atıksu Arıtma Tesisleri de 2015 yılında devreye alınmış olup işletimine devam edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Buski Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesislerinden 2009-2013 yılları arasında kompozit olarak alınan numunelerde ölçülen pH, iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$), BOI_5 (mg/L), KOI (mg/L), AKM (mg/L), TN (mg/L), TP (mg/L) değerleri kullanılarak,

istatistiksel metodlar yardımıyla arıtma tesislerinin mevsimlere ve yıllara göre performansları değerlendirilmiştir.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Atıksuyu Oluşturan Bileşenler ve Atıksu Karakteristikleri

Atıksuların uzaklaştırılmasında, ihtiyaca uygun arıtma sistemi tasarımı ve bu tesislerin düzgün bir şekilde işletilmesi açısından atıksu karakterizasyonu oldukça önemlidir. Atıksu karakteristikleri; debi ve kimyasal özelliklere bağlı olup evsel, endüstriyel ve ticari su tüketimine bağlı olarak değişiklik gösterir. Yağışlı dönemlerde, kanalizasyona büyük ölçüde sızma debisi ve yağmur suyu da dahil olur. Bu da atıksu karakteristiğini etkiler. Sızma ve doğrudan yağmur suyu debisi miktarları; kanalizasyon sisteminin durumu (yaş, kanal çatlakları, kusurlu boru birleşimleri ve bacalar), izinsiz çatı ve temel/dren bağlantıları, yüksek yer altı suyu seviyesi gibi nedenlere bağlı olarak değişmektedir (Koyuncu 2012).

Atıksu arıtma tesisi tasarımı için; hem tesise giriş yapacak olan atıksuyun hem de arıtma kademeleri sonundaki atıksuyun karakteristiklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunlara ait veriler de; kurak hava debileri (minimum, ortalama ve maksimum), pik yağışlı hava debisi, süreli maksimum debiler ve kirletici parametreleri (pH, BOİ₅, KOİ, AKM, TP, TN vb.) kapsamaktadır (Koyuncu 2012).

Çizelge 2.1'de; önemli ölçüde endüstriyel atıksu deşarjı içermeyen tipik evsel atıksuların bileşimleri ile ilgili bilgiler özetlenmektedir.

Çizelge 2.1. Atıksu bileşenleri (Henze ve ark. 2002)

Bileşen	İlgi Alanı	Çevresel Etki
Mikroorganizma	Patojenik bakteri, virüs ve kurtçuk yumurtaları	Yüzme suyunda ve kabuklu su canlılarının tüketiminde risk
Biyobozunur organik madde	Akarsu, göl ve fiyortlarda oksijen tüketimi	Sucul hayatta değişiklikler (daha az çeşitlilik vb.)
Diğer organik maddeler	Deterjanlar, pestisitler, yağ-gres, renklendiriciler, solventler, fenoller, siyanür	Toksik etki, estetik mahzurlar, biyo-birikim
Nutrientler	Azot, fosfor, amonyak	Ötrofikasyon, oksijen tüketimi, toksik etki
Metaller	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Toksik etki, biyo-birikim
Diğer inorganik maddeler	Asitler ve bazlar	Toksik etki, korozyon
Termal etki	Sıcak su	Flora ve fauna için değişen yaşam koşulları
Koku ve tat	Hidrojen sülfür	Toksik etki, estetik mahzurlar

Atıksu içerisinde; organik ve inorganik maddeler, nütrientler ve mikroorganizmalar bulunur (Henze ve ark. 2008). Bunların arasındaki en önemli kirlilik, organik maddelerdir ve BOİ, KOİ şeklinde ölçülebilmektedir. Organik maddeler; çözülmüş inert, kolay biyobozunur, hızlı hidroliz olabilen, yavaş hidroliz olabilen ve askıda inert gibi çeşitli fraksiyonlarda bulunabilirler. Atıksu karakteri; sıcaklık, oksijen ve kanalizasyonda taşınma şekline göre değişiklik göstermektedir (Henze 1992). Bu değişiklik organik fraksiyonlarda ve atıksudaki tüm diğer parametrelerde görülebilir.

Atıksu arıtma tesislerine gelen debi miktarları, haftanın bazı günlerinde değişiklik göstermektedir. Özellikle “haftasonu debisi” olarak tabir edilen cuma ve cumartesi günleri oluşan atıksu, haftanın diğer günlerindeki atıksu karakterinden oldukça farklıdır. Örneğin bu günlerde; denitrifikasyon işlemi için önemli olan KOİ/TN oranı genellikle düşüşe geçer ve denitrifikasyon prosesinde bozulmalar meydana gelir (Henze ve ark. 2002). Buna benzer şekilde, bazı atıksu bileşenlerinin birbirlerine oranları, arıtma sistemi seçimini doğrudan etkilemektedir. Atıksudaki karbonun azota oranının düşük olması durumunda, denitrifikasyon işleminin verimi için karbon kaynağı eklenmesi gerekmektedir. Yüksek nitrat miktarı veya düşük uçucu yağ asidi içeren atıksular, biyolojik fosfor giderimi için uygun olmamaktadır. Atıksudaki KOİ/BOİ₅ oranının yüksek olması da, organik maddelerin biyolojik olarak çok zor giderilebileceğini göstermektedir. Evsel atıksulardaki bileşen oranları Çizelge 2.2’de görülmektedir.

Çizelge 2.2. Evsel atıksudaki bileşen oranları (Henze ve ark. 2008)

Oran	Yüksek	Orta	Düşük
KOİ/BOİ₅	2.5-3.5	2.0-2.5	1.5-2.0
UYA(uçucu yağ asitleri)/KOİ	0.12-0.08	0.08-0.04	0.04-0.02
KOİ/TN	12-16	8-12	6-8
KOİ/TP	45-60	35-45	20-35
BOİ₅/TN	6-8	4-6	3-4
BOİ₅/TP	20-30	15-20	10-15
KOİ/UAKM	1.6-2.0	1.4-1.6	1.2-1.4
UAKM (uçucu askıda katı madde)/AKM	0.8-0.9	0.6-0.8	0.4-0.6
KOİ/TOK	3-3.5	2.5-3	2-2.5

2.2. Kentsel Atıksular

İçme suyu sistemiyle evlere verilen sular, çeşitli şekillerde kullanıldıktan sonra kanalizasyon sistemiyle uzaklaştırılırlar. Atıksuyun miktarı kanalizasyon sistemine bağlanan alanın nüfusuna, atıksuyun özellikleri ise bu alandaki nüfusun yaşam standartlarına bağlıdır (Samsunlu 2006).

Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nde yer alan tanıma göre kentsel atıksu; evsel atıksu ya da evsel atıksuyun endüstriyel atıksu ve/veya yağmur suyu ile karışımını ifade etmektedir (Anonim, 2006). Bu yüzden bu atıksular çok farklı özelliklere sahip olabilirler ve ekonomik bir arıtma için bu atıksuların karakterizasyonunun bilinmesi gerekmektedir (Eren ve ark. 2007). Atıksu bileşimi, yer ve zamana göre değişiklik gösterebilmektedir. Su tüketimi, sızma/kaçma debileri, deşarj edilen maddelerin miktarındaki değişimler atıksu bileşimini etkilemektedir.

Evsel atıksuyun önemli bir miktarı insan artıklarından, mutfak suyu, sebze ve yiyecek artıklarından meydana gelmektedir. Evsel atıksu kendisini oluşturan maddelerin oksijen tüketici özelliklerinden dolayı çok az oksijen içerir. Bazen suda oksijen hiç bulunmayabilir. Az eğimli kanallarda veya uzun süren akışlarda anaerobik ayrışma meydana gelir ve bu nedenle suyun rengi kararır. Hidrojen sülfür (H₂S) ve metan (CH₄) gibi kötü kokulu gazlar ortaya çıkar. Kanallardaki bu ayrışma atıksuyun biyolojik yolla arıtılmasını zorlaştırır. Bu nedenle atıksular, oluşumundan mümkün olduğu kadar kısa sürede arıtılmalıdır (Samsunlu 2006).

Evsel atıksular askıda, kolloidal ve çözülmüş halde organik ve inorganik maddeleri içermektedir. İklim özelliği, insanların yaşam standartları (örneğin kişi başı günlük su kullanım miktarları vb.), kültürel alışkanlıkları, o bölgedeki sanayi üretim faaliyetleri gibi etkenler atıksu karakteristiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Kanalizasyonu olan birçok yerleşim yerinde, kişi başı su tüketim miktarları 180-300 lt arasındadır. Bu değer, gelişmiş ülkelerdeki büyük şehirlerde 500 l/kişi-gün'e ulaşabilmektedir. Bu tüketim miktarlarının % 80-85'i kadarı, kanalizasyona atıksu şeklinde geri verilmektedir. Bütün bunlarla beraber atıksu karakteristikleri; farklı mevsimlerde ve günün çeşitli zamanlarında bile değişiklik gösterebilmektedir. Evsel kanalizasyon sistemlerine endüstriyel atıkların girmesi de, mevcut evsel atıksu özelliklerini değiştiren nedenlerden biridir (Azman 2005).

Herhangi bir arıtma işleminden geçirilmemiş evsel atıksu; çok büyük oranda karbon, azot, fosfor gibi organik besinlerden ve yüksek konsantrasyonda mikroorganizmalardan oluşmaktadır. Bu maddeler kanalizasyon sistemlerinde akarken bile biyolojik bozunmalar devam eder ve bunun sonucunda zamanla atıksu özellikleri değişebilir. Evsel atıksular azot ve fosfor gibi besinlerin ana kaynağıdır. Gıda ve gübre sektörü dışındaki endüstriyel atıkların çoğunda, bu besin maddelerinden düşük oranda bulunmaktadır (<http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana58/bolum01.pdf>, 2005).

Kanalizasyon sistemi etkin çalışıyorsa, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5) ortalama 54 g/kişi-gün civarındadır. Gelişmekte olan bölgelerde, bütün atıksu miktarları kanalizasyona giremediğinden BOI_5 değeri 30-40 g/kişi-gün olabilir. Birleşik kanalizasyonlarda, BOI_5 değeri % 40 artışla, 77 g/kişi-gün seviyesinde olur. Okul ve işyeri gibi 24 saat aktif olmayan mekanlarda, normal BOI_5 değerinin (54 g/kişi-gün) yarısı veya yarısından azı dikkate alınabilir. Restoranlardaki her bir yemek servisi, 54 g/kişi-gün BOI_5 değerinin dörtte biri kadardır. Kişi başına düşen BOI_5 miktarları; tiyatro ve sinemalarda 54 g/kişi-gün'den az, otel ve hastanelerde ise bunun 1,5 veya 2,5 katı olarak kabul edilebilir (Azman 2005).

Çizelge 2.3'te evsel atıksu içerisindeki fizikokimyasal kirleticilerin; zayıf, orta ve kuvvetli sayılabilecek konsantrasyon miktarları ifade edilmektedir.

Çizelge 2.3. Ham evsel atıksudaki kirletici konsantrasyonları (Metcalf & Eddy 2004)

Kirleticiler	Birim	Konsantrasyon		
		Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam katı (TS)	mg/l	350	720	1200
Toplam çözünmüş Katı (TDS)	mg/l	250	500	850
Sabit	mg/l	145	300	525
Uçucu	mg/l	105	200	325
Askıda Katı (SS)	mg/l	100	220	350
Sabit	mg/l	20	55	75
Uçucu	mg/l	80	165	275
Çökebilir Katılar	mL/l	5	10	20
BOI ₅ (20°C)	mg/l	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	mg/l	80	160	290
KOI	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
Toplam Koliform	no/100	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Uçucu Organik Bileşikler (VOCs)	ml µg/l	<100	100-400	>400

2.3. Arıtma Sistemlerinin Seçimi ve Kentsel Atıksu Arıtımı

Atıksu arıtımı, suyun çeşitli kullanımları sonucunda atıksu haline gelerek kaybettiği özelliklerinin bir kısmını veya tamamını geri kazandırabilmek, verildikleri alıcı ortamın doğal, fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma işlemleri şeklinde tanımlanabilir (Damar 2009).

Günümüzde atıksu arıtımında kullanılan birçok sistem mevcuttur. Ancak kalkınmasını tamamlamış ülkelerde, arıtma tesislerinde istenilen çıkış suyu kalitesinin sıkı tedbirlerle sınırlandırılması nedeniyle arıtma sistemi seçeneklerinin sayısı daha azdır. Kalkınmakta olan ülkelerde, ekonomi ve çevre politikaları kısa vadede değişiklik gösterebileceğinden deşarj kriterleri geniş ölçekte yer alabilmektedir. Ayrıca kalkınmış

ülkelerde, arıtma tesisi yapım ve işletme maliyetleri proses seçiminde birincil rol üstlenmezken; kalkınmakta olan ülkelerde arıtma maliyetleriyle ilgili konular, tesis tipi ve prosesin seçiminde nihai kararı etkileyici bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır (Von Sperling 1996).

Bir atıksu arıtma tesisinin tasarım adımlarını sıralayacak olursak:

- Yer seçimi ve arıtılmış suyun deşarj noktasının belirlenmesi
- Nüfus ve debi hesabı
- Sistem seçimi
- Proses hesapları
- Vaziyet planı
- Borulama planı
- Hidrolik hesaplamalar ve hidrolik profil
- P&I diyagramı oluşturulmasıdır (Koyuncu 2012).

Klasik atıksu arıtma sistemleri; atıksuyun arıtılacağı noktaya getirilerek (pompalama/cazibe yoluyla) ızgaralardan geçirilmesi ve kum vb. maddelerin ayrılmasını içeren *mekanik arıtma*, askıda ve yüzen katı maddelerin giderildiği *ön çökeltme*, kolloid ve çözünmüş maddelerin biyolojik kütleyle dönüştürülerek çökebilir hale getirildiği *biyolojik havalandırma* ünitelerinden oluşmaktadır. Bu işlemler sonucu ortaya çıkan çamur yoğunlaştırılarak bertaraf edilmektedir (Azman 2005).

Atıksu arıtım işlemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç grup altında incelenmektedir (Damar 2009). Daha ileri düzeyde arıtım sağlanması için de ileri arıtım yöntemleri kullanılmaktadır.

Fiziksel arıtım yöntemleri; atıksudaki askıda kolloidal partikülleri ve diğer iri katı maddelerin sudan ayrılarak, atıksuyu sonraki arıtma işlemlerine hazırlayan veya yeterli görülürse bu şekilde arıtılmasını kapsayan yöntemlerdir. Bu yöntemler:

- 1) Izgara ve kalbur ile büyük boyutlu asılı katı taneciklerin ayrılması
- 2) Kum tutucular ile büyük boyutlu asılı katı taneciklerin ayrılması

- 3) Yağ tutucular ile suda yüzen maddelerin ayrılması
- 4) Çöktürme havuzlarında kendi ağırlığı ile çökebilene ince maddelerin ayrılması ve yüzdürme yöntemi ile hafif maddelerin yüzeyden alınması
- 5) Nötralizasyon

Kimyasal arıtım yöntemleri temelde; atıksudaki bileşiklerin kimyasal yapısının değiştirilerek sudan arıtılmasını içerir. Bu proses sonucunda daha az zararlı veya zararsız atıklar oluşmaktadır. Kimyasal yöntemler:

- 1) pH ve nötralizasyon
- 2) Pıhtılaştırma
- 3) Yumaklaştırma
- 4) Kimyasal çöktürme
- 5) Dezenfeksiyon

Biyolojik arıtma; yapay veya doğal biyolojik tesislerde mikroorganizmalar yardımıyla, atıksudaki çözünmüş organik maddelerin ve kendi ağırlığı ile çökemeyen asılı ya da kolloidal taneciklerin giderilmesi işlemleridir.

Atıksuların daha ileri düzeyde arıtılması amacı ile kullanılan fizikokimyasal yöntemler de şunlardır:

- 1) Adsorpsiyon
- 2) İyon değiştirme
- 3) Ekstraksiyon
- 4) Ters osmoz
- 5) Elektrodializ

Evsel atıksularının ön arıtımında sırasıyla; kaba ızgara, ince ızgara, ufalama-parçalama, debi ölçümü, atıksuyun terfi ettirilmesi, atıksudan kumun uzaklaştırılması işlemleri gerçekleştirilebilir. Koku kontrolünü sağlamak ve atıksuyun çökeltme özelliğini geliştirmek amacıyla, ham atıksu klorlanabilir. Ön arıtma üniteleri; ham atıksuyun nitelikleri ve sonraki arıtma adımlarına bağlı olarak değişebilir. Ön arıtma ünitelerinden

biri olan ızgaralar; kum tutucu ve savakların katı maddeyle dolmasının önlenmesi ve pompaların korunması amacıyla kullanılırlar. Parshall savağı genellikle, küçük arıtma tesislerinde terfi pompalarından önce, büyük arıtma tesislerinde pompalardan sonra konumlandırılabilir. Ancak atıksu, yüksek miktarda kum vb. katı madde içeriyorsa kum tutucular pompalardan önce gelmelidir. Ön arıtma bölümünde bulunan ünitelerden birisi de ön çökeltme havuzlarıdır. Ham atıksuyun çökeltilmesi işlemi, kentsel atıksu arıtma tesislerinde çoğunlukla yapılmaktadır. Eğer arıtma prosesi olarak damlatmalı filtreler kullanılıyorsa atıksu, çöktürme işleminden geçirilmelidir. Ancak tam karışimli aktif çamur sistemi mevcutsa, çöktürme işlemi olmadan da arıtma yapılabilir. Ön çökeltme işlemi, genellikle çamur stabilizasyonu maliyetinden ötürü az nüfus sayısına sahip bölgelerde kullanılır. Bu işlem sonunda % 50-70 AKM ve % 25-40 BOİ₅ giderimi gerçekleştirilmektedir. Atıksuda kalan organik maddeler, ihtiyaç duyulan standartları sağlamak üzere aktif çamur, damlatmalı filtreler veya diğer uygun arıtma yöntemleriyle giderilmektedirler.

Evsel atıksuların arıtımında genellikle aktif çamur, anaerobik arıtma, damlatmalı filtreler ve stabilizasyon havuzları gibi biyolojik sistemler kullanılmaktadır. Yerleşim yerlerinin iklimleri ve sosyo-ekonomik durumları arıtma tesisi sistem seçiminde önemli rol oynamaktadır. Örneğin tropikal veya subtropikal iklimdeki kalkınmakta olan ülkelerde evsel atıksu arıtımı, çoğunlukla stabilizasyon havuzları ile yapılmaktadır (Mara 1978, Khan ve Ahmad 1992). Stabilizasyon havuzları; çok derin olmayan, belirli şekle sahip doğal zemin içine inşaa edilirler. Stabilizasyon havuzlarında atıksudaki organik atıklar, güneş enerjisi yardımıyla parçalanmaktadır. Bu sistemlerin işletimi kolaydır ve düşük maliyetlidir, bu nedenle küçük yerleşim yerlerinde yaygın olarak kullanılırlar. Ancak bu sistemin kurulabilmesi için büyük araziye gereksinim duyulmaktadır (Oswald 1995).

İleri arıtma işlemleri; fosforun uzaklaştırılması amacıyla, ötrofikasyonun meydana geldiği sulara (baraj gölü, doğal göl, nehirler) boşaltılan atıksuların arıtılmasında kullanılır. Azot giderimi ise biraz daha kompleks ve maliyetlidir, bu nedenle yalnızca ihtiyaç duyulduğunda (yasal nedenler vb.) yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, tesis

çıkışındaki atıksuyun oksijen ihtiyacını, toksisitesini kontrol etmek ve içerdiği amonyak miktarını azaltmak için nitrifikasyon işlemi uygulanabilmektedir (Azman 2005).

Ön arıtmada ve son çöktürme sırasında giderilen organik maddeler, bu işlemler sonunda yoğunlaştırılmış çamura dönüşürler ve miktarları başlangıçtaki atıksuya göre çok daha azdır. Atıksu arıtımında çamur arıtımı ve/veya uzaklaştırılması önemli bir ekonomik unsurdur. Anaerobik çamur arıtma tesislerinin inşa maliyeti, arıtma tesisinin toplam inşa maliyetinin yaklaşık üçte biri kadardır. Çökeltme havuzundaki çamur arıtılmadan önce, genellikle bir yoğunlaştırıcı içerisinde toplanarak yer çekimi ile çökeltme sağlanır. Çamur arıtımında kullanılan yaygın yöntemler; anaerobik çürütme, vakum veya basınçlı filtre yardımıyla suyun mekanik olarak ayrıştırılmasıdır. Çamur bertarafında ise; lagünlerde depolama, yakma ve toprağa gömme yöntemleri kullanılabilir (Azman 2005).

Çeşitli büyüklüklerdeki yerleşim yerleri için sıklıkla uygulanan atıksu arıtma türleri aşağıda yer almaktadır.

Mahalle, okul, vb.;

- Uzun havalandırılmalı aktif çamur (paket tesis) sistemleri
- Stabilizasyon havuzları

Nüfusu 2000'den küçük yerleşim yerleri;

- Uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemleri
- Temas stabilizasyonu (paket tesis, yerinde inşaa)
- Oksidasyon hendeği
- Stabilizasyon havuzları

Nüfusu 2000-8000 arasında olan yerleşim yerleri;

- Temas stabilizasyonu
- Oksidasyon hendeği
- Ön çökeltmesiz, tam karışımli aktif çamur
- Damlatmalı filtre

Nüfusu 10.000'den büyük yerleşim yerleri;

- Damlatmalı filtre
- Aktif çamur sistemleri

2.4. Biyolojik Arıtma Prosesleri

Biyolojik arıtma; atıksu içindeki kendi ağırlığı ile çökemeyen asılı ya da kolloidal taneciklerin ve çözünmüş organik maddelerin, doğal veya yapay biyolojik tesislerde mikroorganizmalar yardımıyla giderilmesi temeline dayanan arıtma sistemidir. Atıksudaki mikroorganizmalar bu maddeleri enerji ve besin kaynağı olarak kullanırlar. Hücrelerin ihtiyacı olan maddelerin sentezlenmesinde de organik maddelerin bir kısmı kullanılmaktadır (Damar 2009).

Biyolojik arıtmada, atıksudaki askıda veya çözünmüş organik maddeler; bakteriler tarafından parçalanarak çökebilir biyolojik floklar şeklinde atıksuda kalırlar veya gaz formunda atmosfere kaçan sabit inorganik bileşiklere dönüşürler. Biyolojik arıtmanın temeli; organik kirleticilerin giderilmesi amacıyla biyoflokülasyon ve mineralizasyon proseslerinin, kontrollü bir çevrede ve optimum şartlarda tekrarlanmasına dayanmaktadır. Böylece doğadaki reaksiyonların hızlandırılarak daha kısa bir sürede ve emniyetli ortamda gerçekleştirilmeleri sağlanmaktadır (Anonim 2005a).

Biyolojik arıtmada görev alan başlıca mikroorganizmalar; bakteriler, mantarlar, algler, protozoalar; rotiferler, kabuklular ve virüslerdir. Biyolojik arıtma yöntemleri bir başka açıdan, doğal ve yapay yöntemler olarak da incelenebilir. Doğal biyolojik yöntemler; sulama tarlaları, sızdırma alanları, zemin filtreleri, kullanılmış su bekletme havuzları aracılığıyla doğal yollardan atıksu arıtımının yapıldığı yöntemlerdir. Yapay biyolojik yöntemler ise; doğal yöntemlere kıyasla daha kısa sürede arıtma işlemi gerçekleştirilen yöntemler olup yüksek arıtma kapasitesi, yer avantajı, koku ve zararlı canlıların (böceklenme vb.) kontrol edilebilmesi dolayısıyla bilhassa şehirlerde ve endüstrileşmenin yoğun olduğu bölgelerde geniş kullanım alanına sahiptir. Yapay biyolojik arıtma yöntemleri arasında; oksidasyon havuzları, oksidasyon hendekleri, aktif çamur sistemleri ve damlatmalı filtreler sayılabilir (Damar 2009).

Biyolojik atıksu arıtma proseslerinde genel olarak; azot bileşikleri ve organik maddeleri parçalayan biyokütlenin, havalandırma havuzundaki konsantrasyonunu arttırmak amacıyla son çökeltme havuzundan havalandırma havuzuna geri devri yapılmaktadır. (Strathman 1985).

Biyolojik arıtma sistemleri; mikroorganizmaların çözünebilir ve partikül biçimindeki organik bileşikleri, atıksu arıtımı açısından istenen formlara dönüştürmek için uygun ortamlardır. Biyolojik proseslere; amonyak (NH_3), demir (Fe^{2+}) vb. mineralleri ve organik kirleticileri okside eden, ayrıca oksijen (O_2), nitrat (NO_3^-), sülfat (SO_4^{2-}), karbondioksiti (CO_2) indirgeyen mikroorganizmaları üretmek amacıyla tasarlanmış sistemler de denilebilir (Rittmann 1987).

Biyolojik arıtma tipleri değişik şekillerde sınıflandırılmakla birlikte, temel olarak beş ana başlık altında toplanabilir. Bunlar ortamda oksijen varlığına göre; havalı (aerobik) prosesler, anoksik prosesler, havasız (anaerobik) prosesler, birleşik havalı anoksik ve havasız prosesler ile lagün prosesleridir. Çizelge 2.4'te özetlenen bu proseslerden her biri, kullanılan mikroorganizmaların sistemdeki durumuna göre; askıda, yüzeyde, tutunarak büyüyen veya bunların birleşiminden oluşan farklı alt gruplar altında incelenebilir. Bu proseslerin temel uygulamaları; atıksudaki özellikle BOİ, KOİ veya TOK şeklinde ölçülen karbon içerikli organik maddelerin giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon, fosfor giderimi ve atık stabilizasyonudur (<http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana58/bolum05.pdf>, 2005). Dünyada evsel atıksu arıtımı için genellikle biyolojik arıtma sistemleri tercih edilmektedir (Azman 2005).

Çizelge 2.4. Atıksu arıtımındaki önemli biyolojik arıtma prosesleri (Metcalf & Eddy 1991)

Tipi	Genel Adı	Kullanımı
Havalı Prosesler: Askıda-Büyüyen	Aktif çamur prosesleri: Konvansiyonel (piston akımlı) Tam karışimli Kademeli havalandırmalı Saf oksijenli Ardışık kesikli reaktör Kontakt stabilizasyonlu Uzun havalandırmalı A.Ç Oksidasyon hendeği Derin şaft A.Ç. sistemi	Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon
Yüzeyde büyüyen (Biyofilmlı)	Askıda-büyüyen Nitrifikasyon Havalandırmalı lagün Havalı çürütme: Konvansiyonel havalı Saf oksijenli Damlatmalı Filtre: Düşük hızlı Yüksek hızlı Kaba Filtre (roughing) Döner biyolojik disk Dolgulu kuleler	Nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi (nitrifikasyon) Stabilizasyon, karbonlu BOİ ₅ giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen sistemler	Aktif çamur biyofiltre prosesleri	Karbonlu BOİ giderimi ve nitrifikasyon
Anoksik Prosesler: Askıda büyüyen Tutunarak büyüyen	Askıda büyüyen denitrifikasyon Sabit-film denitrifikasyon	Denitrifikasyon
Havasız Prosesler: Askıda büyüyen	Havasız çürütme: Standart hızlı, tek kademeli Yüksek hızlı, tek kademeli iki kademeli Havasız kontakt prosesler Havasız çamur yataklı reaktör	karbonlu BOİ giderimi karbonlu BOİ giderimi karbonlu BOİ giderimi karbonlu BOİ giderimi

Çizelge 2.4. Atıksu arıtımındaki önemli biyolojik arıtma prosesleri (Metcalf & Eddy 1991) (devam)

Tutunarak büyüyen	Havasız filtre Genleşmiş yataklı reaktör	karbonlu BOİ giderimi, atık stabilizasyonu, denitrifikasyon. karbonlu BOİ giderimi, atık stabilizasyonu
Birleşik havalı, havasız ve anoksik prosesler Askıda büyüyen	Tek veya çok basamaklı, çeşitli özel prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon, P giderimi
Birleşik askıda ve tutunarak büyüyen	Tek veya çok kademeli prosesler	Karbonlu BOİ giderimi, nitrifikasyon, denitrifikasyon, P giderimi
Lagünler	Havali havuzlar, Olgunlaştırma havuzları Fakültatif havuzlar Havasız havuzlar	Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ gid.(nitr.) Karbonlu BOİ giderimi Karbonlu BOİ giderimi (atık stabilizasyonu)

Deneyim ve maliyet konusunda avantajları olan aktif çamur sistemleri, nütrient giderim proseslerinde yaygın kullanılan konvansiyonel bir atıksu arıtma sistemidir. Havali biyolojik arıtma metotları arasında geniş uygulama alanı bulmaktadır. Bu metot 1912-1914 yıllarında geliştirilmiş ve karmaşık biyolojik mekanizması nedeniyle diğer proseslere göre daha fazla ilgi çekmiştir. Bu nedenle, aktif çamur prosesinin zaman içinde farklı modifikasyonları geliştirilmiştir (Anonim 2005b).

Aktif çamur sistemi, havalandırma havuzlarındaki mikroorganizmaların atıksuyun içerdiği organik maddeleri bünyelerine alarak özümlediği sistemlerdir. Oluşan mikroorganizma flokları, son çökeltme havuzuna gönderilir ve burada çöktürülerek bir kısmı havalandırma havuzuna geri devir yapılır. Aktif çamur sisteminin avantajları; yüksek kirlilik yüküne sahip atıksuların arıtılmasına imkan vermesi, çıkış atıksuyunda yüksek BOİ₅ giderim verimi elde edilmesi ve gelecekteki ihtiyaçlara göre ileri arıtma sistemlerine dönüştürülebilmesidir. Ancak tesise girebilecek şok kirlilik yükleri, sistemdeki biyolojik dengeyi bozabilir; hidrolik yükün fazla olması da sistemin işleyişinde problem yaratabilir. Bu nedenle aktif çamur sistemlerinde, işletme kontrolleri çok büyük önem arz etmektedir (Azman 2005).

Azot ve fosfor, ötrofikasyona neden olan en önemli maddeler oldukları için bu parametrelerin giderimi, klasik aktif çamur sistemlerinde bazı değişikliklerin yapılmasını gerekli kılmış, ileri biyolojik arıtma sistemleri meydana gelmiştir. Azot, fosfor gibi besi maddelerinin maksimum oranda arıtımını sağlayabilecek aktif çamur sistemleri, tasarım ve işletme konularında detaylı incelenmesi gereken arıtma prosesleridir (Yılmaz 2016).

Aktif çamur prosesi tasarımında göz önünde bulundurulması gereken kriterler:

- Reaktör tipinin seçimi
- Yükleme kriterleri
- Çamur üretimi
- Oksijen ihtiyacı ve transferi
- Besi maddesi ihtiyacı
- Filamentli (ipliksi) organizmaların kontrolü
- Çıkış suyu özellikleri (deşarj standartları)

Azot ve fosfor gibi biyolojik nutrient giderimi amacıyla tasarlanan aktif çamur sistemi, çevresel koşullara ve atıksu karakterizasyonuna bağlıdır. Bilhassa endüstriyel atıksu miktarı yüksek olan kentsel atıksularda ayrışabilen organik madde türleri, miktarları ve ayrışma hızları, azot ve fosfor parametreleri farklılık gösterebilmektedir.

Evsel atıksulardaki azotun biyolojik giderim verimi, biyolojik arıtmaya ve giriş atıksuyundaki KOİ:TKN (toplam kjeldahl azotu) oranına bağlıdır.

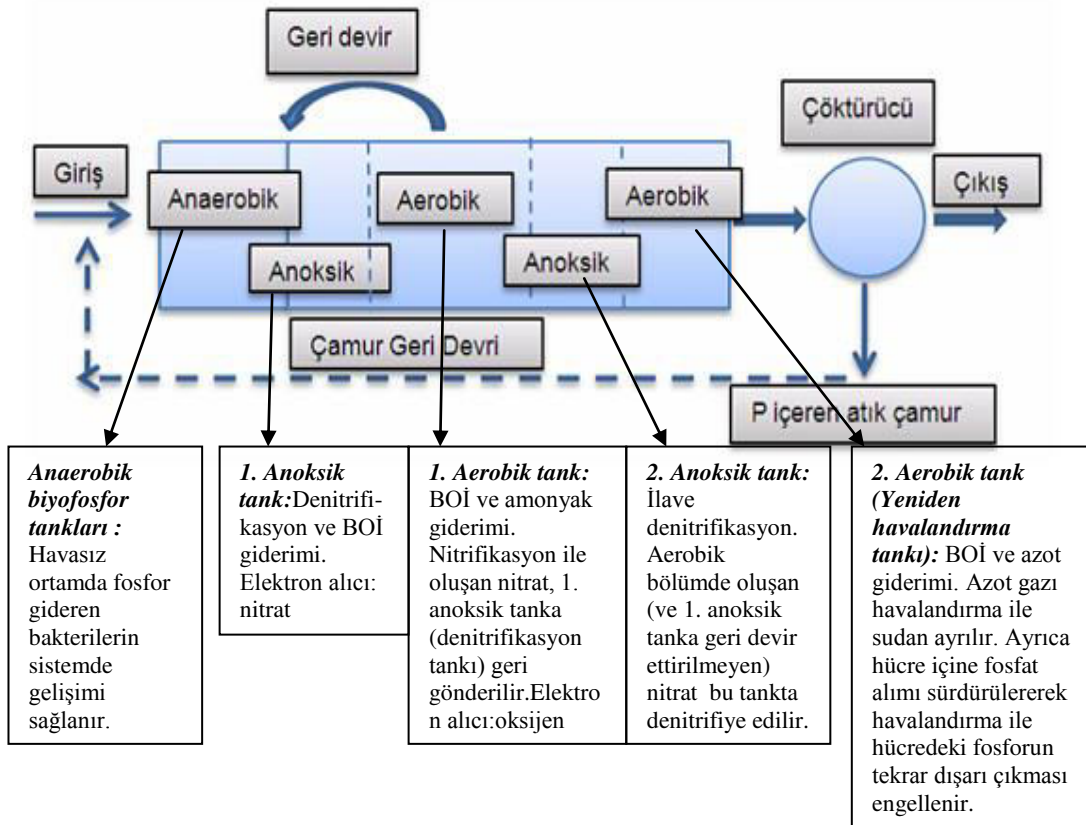
- KOİ:TKN<10 olması durumunda ön denitrifikasyon sistemleri etkin olarak kullanılabilir.
- KOİ:TKN oranının 10'dan büyük olması durumunda ise sonda denitrifikasyon sistemleri avantajlıdır. Bu durumda birden fazla anoksik reaktöre sahip; önde ve sonda denitrifikasyon sistemlerinin avantajlarının birleştiği Bardenpho tipi aktif çamur sistemi kullanılabilir.
- Girişteki karbonlu organik madde konsantrasyonunun yüksek olması, çıkışta düşük nitrat konsantrasyonu elde edilmesini sağlar. Ayrıca eş zamanlı (nitrikasyon-denitrifikasyon) prosesi aynı reaktör içindeki farklı bölgelerde

anoksik ve havalı koşulların oluşturulması (oksidasyon havuzları vb.) ve/veya aynı reaktör içinde oksijenin düşük seviyelerde kontrolüyle de sağlanabilmektedir (Koyuncu 2012).

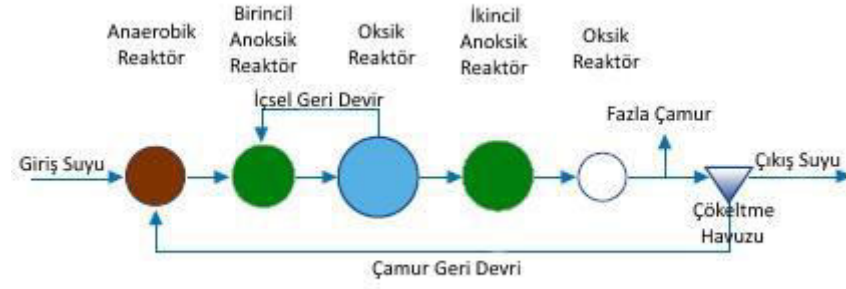
Atıksu arıtımındaki öncelikli amaç, askıda katı madde (AKM) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) giderimi sağlamaktır. Askıda katı maddeler, verildikleri alıcı ortamda sediment oluştururlar ve organik maddeler, sucul yaşam için gerekli olan oksijeni kullanarak bozunmaya devam ederler. Çıkış atıksuyundaki nitrojen ve fosfor bileşikleri balıklar için toksik olabilmektedir. Amonyak, bu maddelerden birisidir. Bu maddeler aynı zamanda, alg gibi aquatik bitkilerin büyüme oranlarını da arttırmaktadır. Bu da nehir veya göldeki diğer sucul hayata engel olabilecek alg patlamaları ile sonuçlanabilir. Azot konusunda ilk üzerinde çalışılan arıtma prosesi, nitrifikasyon prosesi olmuştur. Bu, çok daha stabil bir azot formu oluşturacak ve nehirlerdeki oksijen tüketimini minimize edecektir. Amaç, mevcut amonyağı ikincil bir proseste nitrata dönüştürmektir. Ancak hali hazırda nitrat, alg problemi yaratan aquatik bir besleyici olarak işlev görmektedir. Buna çözüm olarak da nitratı, havalandırma yolu ile çıkış atıksuyundan ayrılabilen elemental azot gazına dönüştürmek için denitrifikasyon prosesi geliştirilmiştir (Benisch ve ark 2007). Biyolojik arıtmada C:N oranı yeterli seviyede değilse, azot giderimini iyileştirmek için organik karbon eklemesi yapılmaktadır. Organik karbon eklenmesi çoğu kez, azot deşarj standardını sağlama konusunda etkili olmaktadır. Ancak çözünmüş mikrobiyal ürünler (SMP-soluble microbial products), karbon miktarıyla doğru orantılı bir şekilde artacağından; organik karbon ekleneceği durumlarda C:N oranının, çözünmüş mikrobiyal ürünler üzerindeki etkileri gözlemlenmelidir (Aquino ve Stuckey 2003).

Fosfor, sularda ötrofikasyona neden olan başlıca besin maddelerinden birisidir. Alum ve demir tuzları ile kimyasal arıtma, fosfor gideriminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak biyolojik fosfor giderimi için de zamanla farklı prosesler geliştirilmiştir. Biyolojik fosfor gideriminin avantajları, kimyasal madde maliyetini ortadan kaldırması ve kimyasal arıtmaya göre daha az çamur oluşumudur (Korkusuz ve ark. 2005). Biyolojik fosfor giderimi, anaerobik ve aerobik evrelerin birbirini izlediği ve heterotrofik organizmaların sorumlu olduğu biyolojik bir prosestir ve atıksudaki

fosforun; mikroorganizmaların hücre yapısına katılması, ardından son çöktürme tankında çamurla birlikte sudan ayrılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Crawford ve ark. 2006, Korkusuz ve ark. 2005). Bu şekilde, çıkış atıksuyunda istenen fosfor konsantrasyonu elde edilmektedir. Özellikle bazı mikroorganizmaların yapısında fazladan fosfor birikmektedir. Bu tür mikroorganizmalara “fosfor biriktiren organizmalar” (PAO-Phosphorus accumulating organisms) denilmekte olup en bilinen türü *Acinetobacter*'dir. PAO'lar aerobik heterotrof mikroorganizmalardır ve bu organizmaların askıda katı maddedeki oranı, biyolojik fosfor giderim kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle fosfor gideriminin verimli olması için bu türün gelişmesi sağlanmalıdır. PAO'lar aerobik mikroorganizmalardır ve anaerobik şartlar altında çoğalamazlar. Bunun yerine ortamdaki uçucu yağ asitlerini (UYA) depolayarak kütlelerini artırırlar (Korkusuz ve ark. 2005). Bardenpho sistemine ait akım şemaları, Şekil 2.1 ve 2.2'de yer almaktadır.



Şekil 2.1. Bardenpho prosesi



Şekil 2.2. Beş kademeli Bardenpho sistemi akım şeması

5 kademeli (Phoredox) Bardenpho prosesinde sistem anaerobik, anoksik ve aerobik bölgelerden oluşmakta; içerisinde fosfor, azot ve karbon giderimi gerçekleşmektedir. Bardenpho prosesinde tanklarda/reaktörlerde gerçekleşen işlemler, sırasıyla aşağıdaki gibidir:

1. Anaerobik Tank: Havasız ortamın sağlandığı bu tank fosfor gideren bakterilerin sistemde gelişebilmesi için kullanılır. Bu bakterilerin önemli bir özelliği, büyümeleri için gerekli olan fosfor miktarından daha fazlasını bünyelerine alabilmeleridir. Anaerobik şartlar altında bakteriler suya fosfor bırakır, aerobik şartlardaysa sudan fosfor alırlar.

2. I. Anoksik Tank: Heterotrofik bakteriler çözülmüş oksijen yerine nitrat kullanmak suretiyle $KOİ/BOİ$ oksidasyonunu sağlar. Denitrifikasyon sürecinde nitrat, azota (gaz) indirgenir.

3. I. Aerobik (oksik) Tank: Bu aşamada, anoksik havuz çıkışı aerobik tanka verilerek geri kalan $KOİ/BOİ$ de burada heterotrofik bakterilerce oksidasyona uğrar. Sisteme gereken çözülmüş oksijen, kabarcıklı ya da yüzey havalandırma yöntemiyle verilir. Ototrofik bakteriler amonyağı okside ederek sırasıyla nitrit ve nitrata dönüştürür.

4. II. Anoksik Tank: İlk aerobik tanktan anoksik tanka geri devir ettirilmeyen nitratlar bu tankta denitrifiye edilirler.

Ortamdaki karbonlu organik maddeler nitrattaki oksijen kullanılarak okside edilirler. Nitrat, azot gazına dönüştürülerek atmosfere salınır. Bu tanktaki nitrat konsantrasyonu I. anoksik tanka göre daha düşüktür. Karbon kaynağı olarak içsel bozunma kullanılır.

5. II. Aerobik (oksik) Tank: Son aerobik tankta mikroorganizmalar karbon oksidasyonuna devam ederler. Uygun koşullar bulunduğundan PHB (Poli-hidroksibütrat) polimerlerini okside edip elde edilen enerjiyle atıksudan hücre içine fosfat alımı devam ettirilir. Tank içerisinde anaerobik ortam oluşmasını engellemek için gerekli oksijen sisteme kazandırılır. Bu şekilde hücre içindeki fosforun tekrar dışarı çıkması engellenir. Oluşan azot gazı (N₂) bu tankta atmosfere verilir (Uysal ve Üstünyıldız 2016).

Sistemde geri devir çamuru ham su ile karışarak anaerobik tanka verilmektedir. İkinci oksik tanktan ilk anoksik tanka içsel geri devir yapılmaktadır (Samsunlu 2006, Yılmaz 2016). Böylece sistemden azotun uzaklaştırılması, havalandırma havuzları içerisinde gerçekleştirilmiş olur. Fosfor giderimi ise anaerobik/aerobik şartlandırmayla fosforun bakteri (çamur) bünyesine alınması ve fazla çamur ile uzaklaştırılması şeklinde olmaktadır. Proseste çamur yaşı 10 - 20 gün aralığında olmalıdır (Yılmaz 2016) .

2.5. Kentsel Atıksu Arıtımı ile İlgili Yasal Çerçeve

T.C. Anayasasının 56. Maddesinde: “Herkes sağlıklı, dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Doğal çevrenin gelişmesini sağlamak ve çevrenin kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşların görevidir.” denilmektedir. Bu amaçla çevre kirliliğinin önlenmesi çeşitli yasal mevzuatlarla kontrol altına alınmış; arıtma tesisleri çıkış sularının alıcı ortamlara deşarjlarında, bazı kirletici parametrelere sınır değerler getirilmiştir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nin Birinci Bölümü Madde 1.'de yer alan “Bu Yönetmeliğin amacı, kentsel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı ile belirli endüstriyel sektörlerden kaynaklanan atıksu deşarjının olumsuz etkilerine karşı çevreyi korumaktır.” ile Madde

2.‘de yer alan “Bu Yönetmelik, kanalizasyon sistemlerine boşaltılan kentsel ve belirli endüstriyel atıksuların toplanması, arıtılması ve deşarjı, atıksu deşarjının izlenmesi, raporlanması ve denetlenmesi ile ilgili teknik ve idari esasları kapsar.” ifadeleri, kentsel atıksuların geri kazanımı ve bu atıksuların çevreye olan zararlı etkilerinin azaltılmasında büyük bir önem arz etmektedir. Söz konusu Yönetmelikte, ikincil arıtım ve ileri arıtıma yönelik deşarj limitleri de yer almaktadır. Bu limit değerler, Çizelge 2.5 ve 2.6’da verilmektedir.

Çizelge 2.5. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri*
(Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 2006)

Parametreler	Konsantrasyon (mg/l)	Minimum arıtma verimi (%)	Referans ölçüm metodu
Nitrifikasyonsuz ¹ Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (20°C’de BOİ ₅)	25	70-90 40 Madde 8 (c)	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. Tamamen karanlık ortamda 20°C ±1°C’de beş günlük inkübasyondan önce ve sonra çözülmüş oksijenin ölçülmesi. Bir nitrifikasyon inhibitörünün ilavesi
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	125	75	Homojen, filtre edilmemiş, çökeltilmemiş ham örnek. potasyum dikromat yöntemi.
Toplam askıda katı madde (TAKM)	35 35 Madde 8 (c) (10000 E.N.’den fazla) 60 Madde 8 (c) (2000-10000 E.N.)	90 ² 90 Madde 8 (c) (10000 E.N.’den fazla) 70 Madde 8 (c) (2000-10000 E.N.)	-Temsili örneğin 0,45 µm membran ile filtrasyonu. 105 °C’de kurutulması ve tartılması. - Temsili örneğin santrifüj edilmesi (ortalama 2800-3200 g.lık ivme ile en az beş dakika kadar), 105 °C’de kurutulması ve tartılması.

* Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

¹ Eğer BOİ₅ ile yerine kullanılan parametre arasında korelasyon kurulabilirse, bu parametre bir başka parametre ile değiştirilebilir: toplam organik karbon (TOK) ya da toplam oksijen ihtiyacı (TOİ) gibi.

² Bu şart yerleşim biriminin büyüklüğüne bağlıdır.

Lagünlerden deşarjlara ilişkin analizler filtre edilmiş örnekler üzerinde yapılmakla birlikte; filtre edilmemiş su örneklerinde toplam askıda katı madde konsantrasyonu 150 mg/l’yi aşmamalıdır.

Çizelge 2.6. Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ileri arıtmaya ilişkin deşarj limitleri* (Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 2006)

Parametreler	Konsantrasyon	Minimum arıtma verimi (%)	Referans Ölçüm Metodu
Toplam fosfor	2 mg/l P (10000-100000 E.N.) 1 mg/l P (100 000 E.N.'den fazla)	80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometresi
Toplam azot ¹	15 mg/l N (10000-100000 E.N.) 10 mg/l N (100 000 E.N.'den fazla) ²	70-80	Moleküler absorpsiyon spektrofotometresi

*Yerel şartlara bağlı olarak parametrelerin biri veya ikisi birden uygulanabilir. Konsantrasyon değerleri veya arıtma verimleri uygulanacaktır.

¹ Toplam azotun anlamı: toplam Kjeldahl-azotu (organik azot + amonyak-azotu), nitrat (NO₃) azotu ve nitrit (NO₂) azotu

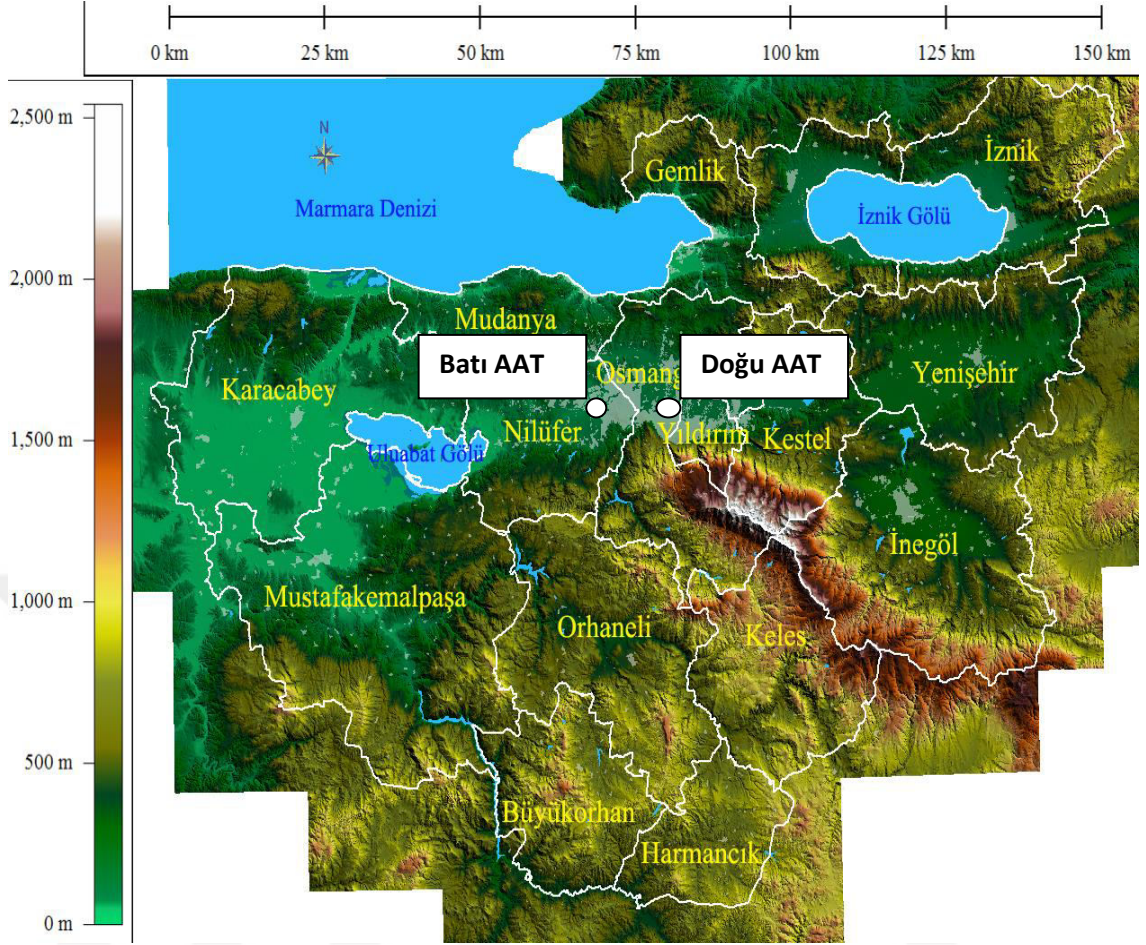
² Alternatif olarak günlük ortalama 20 mg/l N'yi aşmamalıdır. Bu şart atıksu arıtma tesisi biyolojik reaktörünün işleyişı esnasında 12 °C ya da daha yüksek ısıdaki suya uygulanacaktır. Sıcaklıkla ilgili koşullar yerine yerel iklim koşullarını göz önüne almak bağlamında işletme süresi ile ilgili kısıtlar uygulanabilir. Bu alternatif ancak bu yönetmelik EK II'in yerine getirildiğinin gösterilmesi şartıyla uygulanır.

Ülkemizde atıksu arıtma tesisleri tasarımı için bir standart bulunmamakla birlikte 07 Ocak 1991 tarihli ve 20748 sayılı resmi gazetede yayınlanan “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği”nde yer alan, Atıksu Arıtma Tesislerine Ait Teknik Genel esaslara göre: “Atıksu bünyesinde kirliliğe neden olan yabancı maddeler, tane boyutlarına göre çökebilir, askıda, kolloidal ve çözünmüş halde bulunabilirler. Her madde grubu değişik metodlarla atıksudan uzaklaştırılabilir. Atıksu arıtımında uygulanan metodları fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlardan fiziksel arıtmada çökeltim ve flotasyon işlemleriyle çökebilir veya yüzebilen tanecikler ayrılmakta; kimyasal arıtmada çözünmüş ya da kolloidal boyuttaki tanecikler pıhtılaştırılıp yumaklaştırılarak çökebilir hale getirilmekte; biyolojik arıtmada ise çözünmüş maddeler kısmen biyolojik kütlelerin bir araya gelerek oluşturduğu kolay çökebilir yumaklara, kısmen de mikroorganizmaların enerji ihtiyaçları için yaptıkları solunum sırasında çıkan gazlara ve diğer stabilize olmuş son ürünlere dönüşür. Biyolojik ve kimyasal arıtma ünitelerinin yükünü azaltmak için, öncelikle fiziksel ön işlemler uygulanır. Mekanik arıtma olarak isimlendirilen ve genellikle ızgara, kum tutucu ve ön çökeltim ünitelerinden meydana gelen ön

işlemlerden sonra, biyolojik ve/veya kimyasal arıtma uygulanabilir. Biyolojik ya da kimyasal arıtmada oluşan yumaklar, mekanik işlemlerle sudan uzaklaştırılır.” denilmektedir. Ayrıca 20 Mart 2010 tarih ve 27527 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği”, yerleşim birimlerinden kaynaklanan atıksuların arıtılması ile ilgili atıksu arıtma tesislerinin teknoloji seçimi, tasarım kriterleri, arıtılmış atıksuların dezenfeksiyonu, yeniden kullanımı ve derin deniz deşarjı ile arıtma faaliyetleri esnasında ortaya çıkan çamurun bertarafı için kullanılacak temel teknik usul ve uygulamaları düzenlemek amacı ile hazırlanmıştır. Bu Tebliğde verilen, atıksu arıtımı için uygulanabilir olduğu genel olarak kabul edilmiş metodlar, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ve Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinde öngörülen deşarj standartlarını karşılayabilecek mevcut ve/veya yeni diğer metodların kullanılmasını kısıtlamamaktadır.

2.6. Bursa Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri

Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri, şehrin Doğu ve Batı atıksu havzalarından gelen kentsel atıksuların; Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği ile Avrupa Birliği Standartlarında istenen değerlere uygun hale getirilip alıcı ortama deşarj edilerek yüzeysel su kaynaklarına verilen kirliliğin önlenmesi amacıyla yapılmıştır. Doğu AAT koordinatları (422021, 4455637), Batı AAT koordinatları (407699, 4456851)'dir . Doğu ve Batı AAT'lerin bulunduğu noktalar Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri

1993 yılında yapılan fizibilite çalışmalarında Nilüfer Çayı'ndaki mevcut kirlilik dikkate alınarak uzun vadede çayın su kalitesinin II. Sınıfa yükseltilmesi hedeflenmiş, 2020 yılı proje hedef yılı olarak kabul edilmiş ve atıksu arıtma tesisleri 3 aşamada planlanmıştır.

- 1.Aşama: Fiziksel arıtma+anaerobik stabilizasyon havuzları
- 2.Aşama: Mevcut Fiziksel Arıtma+Aktif Çamur Prosesi (Alıcı Ortam Kalite Hedefi: Sınıf III)
- 3.Aşama: İleri arıtma ünitelerinin ilavesi (Alıcı Ortam Kalite Hedefi: Sınıf II)

Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi'nin (BUSKİ) 2001 yılında hazırladığı fizibilite raporuna göre; Avrupa Birliği süreci dikkate alınarak daha önce 3. aşamada yapılması planlanmış ileri arıtma ünitelerinin de, 2. aşamada inşa edilmesi uygun görülmüştür. 2. aşama tesislerin 2017 yılı ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde inşa ettirilip işletilmesi, 3.

aşama tesis ünitelerinde 2030 yılı ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde kapasite artırımına gidilmesi planlanmıştır.

Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi, Osmangazi ilçesi Küçük Balıklı mahallesinde yer almaktadır. 240 000 m³/gün kapasiteye sahiptir ve 1 550 000 eşdeğer nüfusa hizmet etmesi amacıyla planlanmıştır. Batı Atıksu Arıtma Tesisi ise Nilüfer ilçesi Özlüce mahallesinde bulunmaktadır. Kapasitesi 87 500 m³/gündür ve 650 000 eşdeğer nüfusa göre planlanmıştır. Ön arıtma kısımları 1998 yılında işletmeye alınan her iki tesis, 2006 yılının nisan ayında ileri biyolojik arıtma üniteleri de tamamlanarak işletmeye alınmış olup içerisinde azot ve fosfor giderimi de gerçekleştirilmektedir. Çizelge 2.7 ve 2.8’de tesislerin proje değerleri ile 2007-2013 yılları arasında giriş ve çıkışta ölçülen ortalama kirlilik değerleri yer almaktadır. Tesislerin tasarım kriterleri Çizelge 2.9’da yer almaktadır.

Çizelge 2.7. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi işletme özet çizelgesi

<i>Doğu AAT yıllık ort. değerleri</i>	Proje Debisi (m ³ /gün)	PROJE GİRİŞ ATIKSU DEĞERLERİ (mg/L)					HEDEF ARITILMIŞ SU DEĞERLERİ (mg/L)				
		KOI	BOİ5	AKM	TN	TP	KOI	BOİ5	AKM	TN	TP
	240 000	533	267	267	63	11	125	25	35	10	3
	Ort. Debi (kuru havada-m ³ /gün)	GERÇEKLEŞEN GİRİŞ ATIKSU DEĞERLERİ (mg/L)					ULAŞILAN ARITILMIŞ SU DEĞERLERİ (mg/L)				
2013	240 583	569	236	255	50	6,5	20	6	5	6	1,5
2012	225 663	422	174	187	48	6,2	26	8	6	5,5	1,3
2011	215 142	473	187	199	50	6	32	10	7	7	1,2
2010	192 160	384	158	156	39	6	35	11	9	5	1,5
2009	187 619	471	211	194	51	8	39	14	11	9	2
2008	177 557	535	235	204	59	12	43	16	14	8	3
2007	145 060	678	300	285	68	12	41	17	12	9	4

Çizelge 2.8. Batı Atıksu Arıtma Tesisi işletme özet çizelgesi

Batı AAT yıllık ort. değerleri	Proje Debisi (m ³ /gün)	PROJE GİRİŞ ATIKSU DEĞERLERİ (mg/L)					HEDEF ARITILMIŞ SU DEĞERLERİ (mg/L)				
		KOI	BOİ5	AKM	TN	TP	KOI	BOİ5	AKM	TN	TP
	87 500	537	269	269	63	11	125	25	35	10	3
	Ort. Debi (kuru havada-m ³ /gün)	GERÇEKLEŞEN GİRİŞ ATIKSU DEĞERLERİ (mg/L)					ULAŞILAN ARITILMIŞ SU DEĞERLERİ (mg/L)				
2013	62 582	575	239	240	49	6,6	30	9	6	9	0,6
2012	56 562	481	210	201	45	6	33	10	5	6,5	0,9
2011	54 942	619	247	241	64	7	44	13	6	10	1
2010	55 958	581	242	257	58	7	43	13	10	8	1,4
2009	49 202	570	257	234	56	9	45	17	15	9	3
2008	45 383	555	239	226	60	11	41	16	9	9	3
2007	37 355	658	235	294	60	13	50	19	12	10	4

Çizelge 2.9. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri ham atıksu debi ve kirlilik yükleri

Parametre	Birim	Doğu Atıksu Arıtma Tesisi (D.AAT)		Batı Atıksu Arıtma Tesisi (B.AAT)	
		1.Etap	2.Etap	1. Etap	2. Etap
Ortalama Proje Debisi (Kuru Hava)	m ³ /gün	240,000	320,000	87,500	175,000
Kuru Hava pik debisi	m ³ /gün	351,200	468,300	164,200	306,300
Yağışlı Hava pik debisi	m ³ /gün	597,500	796,600	220,000	438,000
BOİ ₅	kg/gün	64,000	85,300	23,500	47,000
AKM	kg/gün	64,000	85,300	23,500	47,000
Amonyak (N olarak)	kg/gün	10,800	14,400	3,938	7,875
Fosfor (P olarak)	kg/gün	2,640	3,520	963	1,925

Avrupa Birliğine uyum sürecinde ele alınan atık sorunu kapsamında, alıcı ortamlara yapılacak deşarjlarda konvansiyonel parametrelerin yanı sıra azot ve fosfor parametrelerinin de belli standart değerlerin altına indirilmesi gerekli hale gelmiştir. Bu nedenle, “Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği, 2006” ile ülkemizde azot ve fosfor standartları mevzuatımıza dahil edilmiştir. Tesisten çıkan arıtılmış su; söz konusu yönetmelik Tablo 1’de belirtilmiş olan “Kentsel atıksu arıtım tesislerinden ikincil arıtıma ilişkin deşarj limitleri” değerlerini sağlaması gerekmektedir. Çıkış atıksuyundaki azot ve fosfor değerleri için de Avrupa Topluluğu Konseyinin 21.05.1991 tarih ve 91/271/EEC sayılı direktifi dikkate alınmıştır. Sonuç olarak Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri, Çizelge 2.10’da görülen limit değerlere göre kontrol edilmektedir. Sıcaklık ve iletkenlik için bir limit değer yoktur ancak biyolojik arıtma için pH’ın 6-9 arasında olması istenmektedir. Selektör ve anaerobik tanklarda pH değerinin bu limitleri aşmaması gerekmektedir.

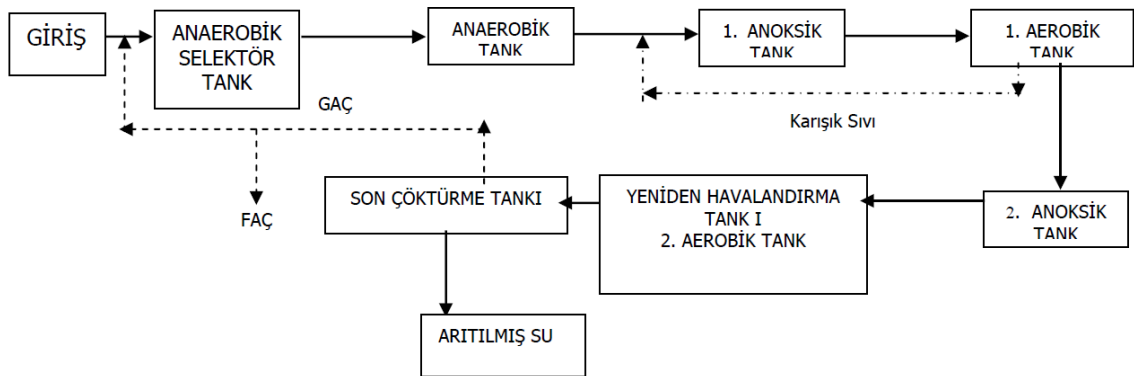
Çizelge 2.10. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri arıtılmış çıkış suyu özellikleri

Parametre	Konsantrasyon (mg/lt)	Min. Giderim Verimi (%)
BOİ ₅	25*	70-90
KOİ	125*	75
TAKM	35*	90
Top-N	10*	-
Top-P	3	-

* Avrupa Topluluğu Konseyinin 21.05.1991 tarih ve 91/271/EEC sayılı direktifi

Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri; biyolojik nutrient giderimini en üst seviyede tutmayı amaçlayan, karbon gideriminin yanı sıra azot ve fosfor arıtımını da içeren 5 aşamalı (Phoredox) Bardenpho prosesine uygun olarak inşa edilmiş olup işletimine devam edilmektedir. Buna ek olarak bir de anaerobik selektör tankı bulunmaktadır. Bu sistem, hem Avrupa standartlarında çıkış suyu kalitesinin elde edilmesi hem de çamur arıtımında ek bir girdiye gerek kalmadan 25 günlük yüksek çamur yaşı ile, arıtma çamurunun stabilize edilerek sorunsuz uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesislerinin işletme akım şeması Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4. Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri akım şeması

Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesislerinin genel görünümüleri Şekil 2.5 ve 2.6'da yer almaktadır.



Şekil 2.5. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi genel görünümü



Şekil 2.6. Batı Atıksu Arıtma Tesisi genel görünümü

Doğu ve Batı AAT'lerde arıtma üniteleri birbirine benzer şekilde inşa edilmiş olup tesisler, Şekil 2.5 ve 2.6'da da numaralandırılmış olan aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

1. Tesise Giriş
2. Ön Arıtma
3. Selektör Tankı
4. Anaerobik Biyofosfor Tankları
5. Havalandırma Tankları
6. Son Çökeltme Tankları
7. Çamur Arıtma Üniteleri
8. Arıtılmış su yapısı (Deşarj yapısı)
9. Taşkın Pompa İstasyonu /kontrol binası

1. Tesise giriş: Doğu ve batı atıksu havzalarından toplanan atıksuların ön arıtma tesisine alındığı kısımdır.

2. Ön arıtma: Kaba ızgara, iki kademeli burgulu pompalar, ince ızgara, kum tutucu ve debi ölçüm ünitelerinden oluşmaktadır. Bu ünite, atıksu içinde yüzen ve askıda bulunan kaba atıklar ile kum tutulmaktadır. Izgara atıkları preslenerek hacmi azaltılır, suları sistemin başına alınır. Kum tutucu ve ızgara atıkları konteyner ile çöp deponi sahasına gönderilir.

3. Selektör tankı: Ön arıtma ünitelerinden gelen atıksuyun çok kısa bir süre, havasız ortamda, geri devir çamuru ile karıştırılması ve mikroorganizmaların prosese uygun şartlara getirilmesi sağlanmaktadır. Kinetik seçimle, filamentli bakterilere karşı flok yapıcı bakterilerin üremesi sağlanmaktadır.

4. Anaerobik biyofosfor tankları (anaerobik reaktör): Selektör tankından alınan atıksudaki fosforun, havasız ortamda gerçekleşen prosesle ileriki ünitelerde giderilmesi için hazırlık yapıldığı bölümdür. Anaerobik şartlarda stres altındaki bakteri, BOİ'yi kullanarak ATP'nin (adenozin trifosfat), ADP+P'ye (adenozin difosfat + fosfor) dönüşmesiyle ihtiyaç duyduğu enerjiyi elde eder. Bu reaksiyon sonucunda anaerobik reaktördeki fosfor miktarında artış görülür. Daha sonra aerobik tanka giren bakteriler, anaerobik tankta aldıkları BOİ'leri oksijen yardımıyla kullanır ve organik maddenin oksidasyonu sırasında ortaya çıkan enerji ile ADP'leri tekrar ATP'ye dönüştürerek atıksudaki fosforu azaltır. Bardenpho prosesinin ilk adımı gerçekleşmiş olur.

5. Havalandırma Tankları: Biyolojik reaktörler diye de adlandırılan bu ünitelerde; anaerobik tanklardan alınan atıksuyun istenilen kriterlere uygun arıtımı yapılmaktadır.

Bardenpho prosesinin diğer aşamaları bu tanklarda gerçekleşmektedir. Anaerobik reaktörden gelen atıksu 1. anoksik tankta ulaşır ve denitrifikasyon ve BOİ giderimi gerçekleşir. Bunun ardından atıksu 1. aerobik tanka gelerek BOİ, amonyak giderimi yapılır ve havalandırma sistemiyle kesin aerobik şartlar sağlanır. Üretilen nitrat, nitrat geri dönüşüm pompaları ile 1. anoksik tanka (denitrifikasyon tankı) geri gönderilir. 2.

anoksik tankta ise BOİ'nin büyük kısmı önceki bölümlerde tüketildiğinden karbon kaynağı içeriden kullanılarak yavaş denitrifikasyon gerçekleştirilir, denitrifikasyonun % 20'si de bu tankta yapılmış olur. Son olarak atıksu, 2. aerobik tanka (yeniden havalandırma tankı) gelir, BOİ ve azot giderimi sağlanır. Özellikle azot gazı sıyrılır.

6. Son çökeltme tankları: Havalandırma tanklarından alınan atıksuların, durgun ortamda belirli bir süre bekletilerek, mikroorganizma kütesinin (biyokatı/çamur olarak adlandırılır) fiziksel olarak ayrışması gerçekleştirilir. Arıtılmış su, havuzun üst kenarındaki savaklarla toplanır ve debi ölçüm yapısında debisi ölçülerek dereye deşarj edilir. Tabana çökelmiş olan çamur ise geri devir pompa yapısındaki pompalarla tesisin başına (selektör tankına) geri devir edilir. Bu şekilde askıda katı maddelerin çökmesi sağlanır.

7. Çamur arıtma üniteleri: Çamur ızgarası, çamur tankı, çamur susuzlaştırma ünitesi, kireçleme binası, köpük pompa istasyonu ve toplama çukurundan oluşmaktadır. Tesiste oluşan fazla aktif çamur; ızgaradan geçirilerek çamur tankına alınır ve burada çamurun karışımı sağlanarak anaerobik şartlardan korunur. Daha sonra fazla aktif çamur; çamur susuzlaştırma ünitesinde mekanik çamur yoğunlaştırıcı ve belt pres kombinasyonu ile susuzlaştırılır. Flok oluşumu ve suyun gideriminin kolaylaştırılması için çamura polielektrolit eklenir. Susuzlaştırılmış çamur, sönmemiş kireç eklenmesiyle stabilize edilir. Ayrıca son çöktürme tankından alınan köpük, çamur ızgaralarına geri pompalanır. Tüm bu işlemlerden geçen çamur da, tesis içinde bulunan sızdırmaz kil dolgu lagünlerde depolanır.

8. Arıtılmış su yapısı (Deşarj yapısı): Toplama bacaları vasıtasıyla son çöktürme tanklarından deşarj yapısına gelen arıtılmış su, deşarj boruları ile doğuda Deliçay Deresi'ne, batıda Ayvalı Deresi'ne debisi ölçülerek deşarj edilmektedir.

9. Taşkın pompa istasyonu / kontrol binası: Taşkın pompa istasyonu, aşırı yağış ve taşkınlarda dere seviyesinin artması sonucu cazibe ile tahliyenin yapılamadığı zaman, fazla suyun pompalarla uzaklaştırılmasını sağlamaktadır.

Arıtılmış su aynı zamanda, servis suyu ve yangın söndürme suyu olma üzere *yıkama suyu tankında* toplanmaktadır. Biyolojik tanka hava temini ise, *blower binasında* yapılmaktadır. Ayrıca *hava arıtım ünitesiyle*, çamur karıştırıcı ve çamur keki/kireç helezonik taşıyıcısından çıkan havada amonyak giderimi sağlanmaktadır (BUSKI 2007).



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Atıksu Numunelerinin Toplanması ve Analiz Edilmesi

Buski Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri giriş ve çıkışlarından kontrol amacıyla, Hach-Lange Marka Buhler model otomatik kompozit numune alma cihazı vasıtasıyla atıksu numunesi alınmaktadır. Bu çalışmada 2009-2013 yılları arasında tesislere gelen ve arıtılmış olarak tesislerden çıkan atıksulardan alınan, BUSKİ Genel Müdürlüğü Havza Koruma Dairesi Başkanlığı'na bağlı bulunan atıksu laboratuvarında ölçülen pH, iletkenlik, BOİ₅ (biyokimyasal oksijen ihtiyacı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), AKM (askıda katı madde), TN (toplam azot), TP (toplam fosfor) değerleri kullanılmıştır. Parametrelerin analiz periyotlarında beş yıllık zaman diliminde önemli bir değişiklik bulunmamakla birlikte zaman zaman aylık veya haftalık değişiklikler yapılmıştır. Ancak ortalama süre belirtmek gerekirse; pH ve iletkenlik haftanın beş günü ölçülürken, BOİ₅ haftada bir gün, KOİ, AKM, TN, TP için haftada beş veya üç gün düzenli olarak analiz yapılmıştır.

BUSKİ laboratuvarında ölçümü yapılan parametrelerin analizleri çoğunlukla Standart Metotlar'da (Anonymous 2012) belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. pH ölçümü SM 4500-H⁺ elektrometrik metodu ile, iletkenlik (ms/cm) SM 2510 metodu ile, BOİ₅ (mg/L) SM 5210 metodu ile, AKM (mg/L) SM 2540 metodu ile yapılmıştır. TP konsantrasyonu (mg/L) Hach Kit Metot 8190'a göre ön işlem yapıldıktan sonra, ölçüm aralığına göre Hach Kit Metot 8048-Phosfover3 askorbik asit metodu, Hach Kit Metot 8114-Molybdovanadate veya LCK 348 metodlarına göre belirlenmiştir (Anonymous 2012). KOİ (mg/L), LCK 514 ve LCK 314 lange kiti ile spektrofotometrik olarak ölçülmüştür, TN (mg/L) tesis girişlerinde Nanocolor Kit metodu MN022, tesis çıkışlarında Nanocolor Kit metodu MN220 kullanılarak fotometre ile belirlenmiştir. Sıcaklık değerlerinin (C⁰) ölçümü, pH ölçüm sırasında WTW marka pH metre ile yapılmıştır.

Buski Doğu Atıksu Arıtma Tesislerinde atıksu debisi, Endress Hauser Proline Promag marka 53WT6-HEOB1AK1A2CA model tipli debimetre; Batı Atıksu Arıtma Tesisleri

debisi ise Endress Hauser Promag 53WT2-HE0B1AK1A2CA model tipli debimetre ile ölçülmüştür.

3.2. Ölçüm Parametreleri

pH: pH, bir çözeltinin asit veya bazlığının şiddetini gösteren bir ifadedir ve çözeltilerde bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunu, başka bir deyişle H^+ iyonunun aktivitesini göstermektedir. H^+ iyonunun molar konsantrasyonunun negatif logaritması alınarak hesaplanır (Samsunlu 1997). Yüzeysel sulara çeşitli kaynaklardan deşarj olunan atıksuyun pH değeri fiziksel, kimyasal ve biyolojik çevreyi etkilediği için oldukça önemli bir parametredir. Yüksek asidik veya alkali pH kanalizasyon sistemlerinde korozyon etkiye sahiptir (Manahan 1993). Yüksek asidik veya alkali pH değeri bazı gazların salınımına neden olur (Hussain 2007). Hidrojen iyonu konsantrasyonu aynı zamanda biyokimyasal reaksiyonların hızına etki eden en önemli faktörlerden biridir. Bu tip reaksiyonlar enzimler tarafından yürütüldüklerinden pH da enzim aktivitesini etkilemesi açısından önemlidir (Samsunlu 1997).

Çevre mühendisliğindeki birçok proseste çok önemli bir yere sahiptir. Kimyasal işlemlerde çökebilirliğe etki ederken, biyolojik işlemlerde organizma aktivitesini etkiler (Anonim 2014).

İletkenlik: Su kalitesinin belirlenmesinde araştırılan parametrelerden birisi de suyun iletkenlik değerinin belirlenmesidir. İletkenlik, çözelti içinde iki elektrot arasındaki elektrik akımıdır. Elektrik akımı geçişi çözelti içindeki iyonlar tarafından yapılmaktadır. İletkenlik suyun saflığını belirleyen bir özelliktir. Suyun iletkenliği ne kadar az ise içerisindeki iyonlar da o kadar azdır (<http://web.itu.edu.tr/~toros/hava/iletkenlik.htm>, 2015). Dolayısıyla elektriksel iletkenlik ölçümleri sudaki toplam iyon derişimi hakkında iyi bir göstergedir. Su analiz sonuçları verilirken Mikrosiemens/cm ($\mu S/cm$) cinsinden 25 °C sıcaklıktaki değeri hesaplanarak belirtilir (<http://itracode.com/Adepo/Haber/Dosya/189.pdf>, 2013). Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağıl konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır (Anonim 2014).

Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ): Sularda mikroorganizmalarca ayrıştırılabilen organik maddelerin miktarını belirlemede kullanılan bir parametredir. Bu maddelerin ayrıştırılması için gerekli oksijen miktarını ifade eder. Su kaynaklarının kirlenme derecelerinin belirlenmesi, atıksuların kirlenme potansiyelinin saptanması ve arıtma tesislerinin tasarımı ve işletilmesi gibi konularda temel öneme sahip bir parametredir. BOİ testinde oluşan reaksiyonlar, biyolojik aktivitenin sonucudur. Bu yüzden reaksiyon hızı mikroorganizma topluluğu sayısı ve sıcaklığa bağlıdır. Evsel atıksudaki BOİ, belli sınırlar arasında değişir ancak bu tür atıksular için kararlı değerlere sahiptir. Endüstriyel atıksularda ise; bazı sanayilerden gelen organik unsurlar biyokimyasal olarak zor parçalanabilir ve atıksu, biyokimyasal ayrışmayı inhibe edici bazı toksik bileşenleri içerebilir. Bu nedenle BOİ parametresi endüstriyel atıksularda, sanayi türüne göre içindeki organik unsurları yeterli ölçüde ifade etmeyebilir. (Samsunlu 1997, Uslu 1991).

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): Evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacına benzer ancak ondan farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlara değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Kimyasal olarak oksitlenebilen organik maddelerin oksijen ihtiyacıdır. Kimyasal olarak oksitlenebilecek bileşikler, biyolojik olarak oksitlenebileceklerden daha fazla olduğu için, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacından (BOİ) daha büyüktür. Arıtılmamış atıksular için $BOİ_5/KOİ = 0,4-0,8$ (ortalama 0,65) kabul edilebilir (Anonim 2005c, Samsunlu 1997). Atıksudaki KOİ miktarı, mutfak ve tuvalet atıklarının birbirinden ayrılmasıyla ciddi oranda düşürülebilir (Hussain 2007).

Askıda Katı Madde (AKM): Sudaki ve atıksudaki askıda (süspanse) veya çözünmüş haldeki maddeler, katı maddeler olarak isimlendirilir. Buharlaştırma işleminden ve 103-105 °C'de kurutmadan sonra geriye kalan maddelerin tümü katı madde olarak sınıflandırılır. Askıda katı madde, kullanılmış suda filtre üzerinde kalan maddelerin kurutulup tartılmasıyla bulunur. Atıksuda AKM tayini, evsel atıksuların kirlilik derecesini ve arıtma tesislerinin verimini belirlemede önemli bir parametredir (Samsunlu 1997). Boyutu 0,45 µm'den büyüktür. Kentsel atıksulardaki askıda katı

maddelerin %75'i organikdir ve bunun yaklaşık yarısı çökebilen katı maddelerdir (Manahan 1993).

Toplam Azot (TN): Azot bileşikleri (10-40 mg civarında), organik bileşiklerden sonra atıksulardaki en önemli kirleticilerdir. Evsel atıksuda bulunan önemli azot kaynakları, insanların besin yoluyla aldığı ve çoğunlukla üre olarak atıksuya karışan proteinlerdir (Samsunlu 2006). "Toplam Azot = organik azot+amonyum azotu+nitrit azotu+nitrat azotu" şeklinde ifade edilir. Azot deneyleri genellikle biyolojik arıtmanın arıtma verimini kontrol etmek için yapılır. Alıcı ortamlarda nutrient madde olduğu için alglerin çoğalmasına neden olan azot türleri, biyolojik arıtmaya ek olarak veya biyolojik arıtma sonrasında uygulanan üçüncü kademe arıtma ile giderilebilmektedir. Ayrıca sucul yaşam üzerindeki toksik etkisi nedeniyle bazı sınırlamalar getirilmiştir. İyonize olmamış amonyağın toksik etkisinin olduğu, amonyum iyonunun ise böyle bir etkisi olmadığı bilinmektedir. Amonyak kontrolü doğrudan amonyak giderimi ile ya da nitrifikasyonla sağlanabilir. Bazı hallerde çıkış suyunun kalitesinin kontrolü, toplam azot değerine getirilen limit değerlerle yapılır. İstenen bu sınır değer amonyak giderimi ile sağlanabileceği gibi nitrifikasyonu ve denitrifikasyonu gerekli kılabilir. Bu nedenle azotun tüm formlarının ölçüm yöntemlerinin bilinmesi büyük önem kazanmaktadır (Samsunlu 1997, Uslu 1991).

Toplam Fosfor (TP): Fosforun genel formları ortofosfat, polifosfat ve organik fosfattır. Toplam fosfor bunların toplamından oluşur ve evsel atıksuda 2-10 mg/L civarında bulunur. Alıcı ortamda mevcut fosforun kaynakları evsel ve endüstriyel atıksuların yanında tarımsal faaliyetlerdir. Fosfor giderimi fiziksel, kimyasal ve biyolojik metodlarla sağlanabilir (Samsunlu 2006). Kentsel atıksular fosfat bakımından zengindir ve deterjan etkinliğinin artırılması için kullanılan fosfat da bu içeriğin bir kısmını oluşturur (Hussain 2007).

3.3. Veri Analizi

İstatistikte yorumlanmak ve sunulmak amacı ile toplanmış, çözümlenmiş ve özetlenmiş gerçeklere 'veri' denilmektedir (Anderson ve ark. 2011). Toplanan bilgilerin başkaları

tarafından da anlaşılabilmesi ve aynı yollarla elde edilmiş başka bilgilerle karşılaştırılabilmesi zorunluluğu, verilerin belli kurallara göre, tek tek ve dağılımlar halinde özetlenerek sunulması zorunluluğunu getirmiştir. Bu amaçla, çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Her araştırma modeli için, uygun bir istatistiksel model seçilmeli; her istatistik sonucunun, kendi içinde ne ifade ettiği iyi bilinmelidir (Gürel 2004).

Araştırma kavramının literatürde farklı tanımları mevcuttur ve bu tanımlara göre araştırma, veri toplama işleminden daha geniş kapsamlıdır. Araştırma; verileri toplama, analiz etme, yorumlama ve değerlendirme süreçlerinden oluşmaktadır. Bu süreçlerin ardından veriler bilgi haline gelebilir. Kullanılan verilerden yararlanmak konusunda, araştırma yöntemi de büyük bir önem arz etmektedir. Amaçlanan bilgiye; kolay, hızlı, ucuz ve doğru bir şekilde ulaşabilmek için farklı veri toplama yöntemleri kullanılabilir (Oğuzlar 2007).

Bilimsel araştırmada temel hedef; verilerin amaca uygun bir şekilde kullanılması, bu veriler yardımıyla belirli sonuçlara ulaşmak ve sonuçları söz konusu araştırma kapsamında genellemektir. Araştırma kapsamında yer alan sonuçların genellendiği birimler bütünü “evren, ana kütle, yığın veya toplum” olarak tanımlanabilir. Esasen evreni; olay, olgu ya da varlıklardan çok tüm bunların sahip oldukları özellikler oluşturmaktadır. Bilimsel araştırmalarda kullanılacak veriler; araştırma evrenindeki elemanlar içinden, amaca uygun bir yöntemle seçilebilecek örneklem üzerinden de elde edilebilmektedir (Ural ve Kılıç 2006).

Mühendislik uygulamalarında veri setlerini temsil eden değerlerin bilinmesi ve ortalama etrafında değişimin ortaya konması oldukça önemlidir. Bunun için merkezi eğilim (mod, medyan, aritmetik ortalama vb.) ve dağılım ölçülerinin (varyans, değişkenlik katsayısı vb.) bulunması gereklidir. Böylece veri setlerinin birbirleriyle kıyaslanması da mümkün olabilmektedir (McBean ve Rovers 1998).

Dünyanın çeşitli bölgelerindeki atıksu arıtma tesislerinde tesis giriş ve çıkış atıksularındaki organik, inorganik, sentetik ve metal maddelerin, su içindeki miktarlarının ve bu maddelerin giderim verimlerinin mevsimsel bazda değişimini

görmek veya tesisler arası giderim verimliliğini kıyaslamak için birçok çalışma yapılmıştır (Erden 2007, Türker ve ark. 2009, Sharma ve ark. 2012, Sarı ve ark. 2014). Bu çalışmalarda, korelasyon ve regresyon analizleri ile varyans analizi (ANOVA) kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında, 2009-2013 yılları arasında Buski Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri giriş ve çıkışlarından alınmış 24 saatlik kompozit numunelerde ölçülen; pH, iletkenlik, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), askıda katı madde (AKM), toplam fosfor (TP), toplam azot (TN) parametrelerinin istatistiksel metodlar yardımıyla mevsimsel değişimleri incelenmiştir. Ayrıca BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP giderim verimlerinde, mevsimlere ve yıllara göre farklılıklar olup olmadığı araştırılmıştır. 5083 pH, 5064 iletkenlik, 2460 biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅), 4775 kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), 4774 askıda katı madde (AKM), 3030 toplam azot (TN), 3017 toplam fosfor (TP) verisi olmak üzere toplam 28203 adet veri analiz edilmiştir.

3.4. Veri Analizinde Yöntem Seçimi

Veri analizinde en önemli aşama, araştırmanın amacına uygun istatistiksel tekniğin belirlenmesidir. Veri analizinde uygulanacak en uygun istatistiksel tekniği belirlemek için göz önüne alınması gereken hususlar; araştırmanın amacı, örneklem yöntemi, değişkenlerin türü (bağımlı, bağımsız, nitel, nicel), bağımlı değişkenlerin ölçüm düzeyi (sınıflama, sıralama, aralık, oran), parametrik ve parametrik olmayan test koşulları, karşılaştırılacak grup (örneklem) ya da ölçümler (bağımsız gruplar, ilişkili ölçümler), karşılaştırılacak grup ya da ölçüm sayısı, her gruptaki denek sayısıdır (Ural ve Kılıç 2006).

Parametrik ve parametrik olmayan testlerin kullanılabilmesi için bazı koşulların yerine getirilmesi gerekmektedir. Parametrik ve parametrik olmayan testlerle ilgili koşullar aşağıdaki gibidir (Ural ve Kılıç 2006):

Parametrik Test Koşulları:

- Veriler nicel özellikte olmalıdır.
- Veriler normal dağılıma sahip olmalıdır.
- Varyanslar homojen olmalıdır. Yani dağılımların yaygınlıkları benzer olmalıdır.
- Örnekleme oluşturan birimler/denekler, birbirinden bağımsız olmalıdır.
- Örneklem büyüklüğü 10'dan az olmamalıdır. Eğer örneklem büyüklüğü 30'dan büyük ise parametrik testler her zaman parametrik olmayan testlerden üstündür.

Parametrik Olmayan Test Koşulları:

- Örnekleme oluşturan birimler/denekler, evrenden yansız olarak seçilmelidir.
- Örnekleme oluşturan birimler/denekler birbirinden bağımsız olmalıdır. Bir deneğin seçimi diğer deneklerin seçimini etkilememelidir.

Bu bilgilere bakıldığında, parametrik testlere ilişkin örneklem ile ilgili iki koşul, parametrik olmayan test koşulları ile aynıdır. Bu iki koşulun dışındaki diğer koşullar gerçekleşmez ise parametrik olmayan testlere başvurulur. Ayrıca, parametrik olmayan testler, nitel özelliğe sahip veriler için de kullanılır (Ural ve Kılıç 2006).

Bu tez çalışmasında kullanılan verilerin analizi yapılırken öncelikle verilerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle incelenmiştir. 'N' birim sayısı çok fazla olmasına rağmen ($n > 30$) veriler heterojen, Normal, Binom'un Normal'e yaklaşımı vb. varsayımları yerine getirmiyorsa parametrik olmayan yöntemler tercih edilir (Özdamar 2004). Parametrik testler uygulanmadan önce normal dağılıma uygunluk ve varyansların homojenliği araştırılır. SPSS ile yapılan normallik ve homojenlik test sonuçları Çizelge 3.1 ve 3.2'de yer almaktadır. Anlamlılık düzeyi (Sig.) $P > 0,05$ olduğu durumlar; normallik testinde normal dağılımı, homojenlik testinde ise varyansların homojenliğini ifade etmektedir. Çizelge 3.1 ve 3.2'deki P (Sig.) değerlerinin bir çoğunun 0,05'ten küçük olduğu, dolayısıyla verilerin normallik ve homojenlik şartlarını birlikte sağlamadığı görülmektedir. Verilerin normal dağılım göstermemesi ve varyansların homojen olmamasından dolayı parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmıştır. Örnek büyüklüğünden etkilenmemeleri ve verilerin dağılımına bağlı

olmamaları nedeniyle parametrik olmayan sıra testleri, kalite verilerine ilişkin eğilim analizlerinde daha iyi sonuç vermektedir (Sarıyıldız ve ark. 2009).

Çizelge 3.1. Normallik Testi (Tests of Normality)

Parametre	Tesis	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Sıcaklık	Doğu giriş	0,043	161	,200*	0,99	161	0,298
	Doğu çıkış	0,053	160	,200*	0,98	160	0,019
	Batı giriş	0,081	162	0,011	0,967	162	0,001
	Batı çıkış	0,087	159	0,005	0,949	159	0,000
pH	Doğu giriş	0,083	161	0,009	0,982	161	0,036
	Doğu çıkış	0,06	160	,200*	0,971	160	0,002
	Batı giriş	0,12	162	0,000	0,917	162	0,000
	Batı çıkış	0,051	159	,200*	0,926	159	0,000
İletkenlik	Doğu giriş	0,152	161	0,000	0,878	161	0,000
	Doğu çıkış	0,095	160	0,001	0,975	160	0,005
	Batı giriş	0,06	162	,200*	0,98	162	0,020
	Batı çıkış	0,082	159	0,011	0,968	159	0,001
BOİ ₅	Doğu giriş	0,078	161	0,017	0,927	161	0,000
	Doğu çıkış	0,159	160	0,000	0,954	160	0,000
	Batı giriş	0,057	162	,200*	0,985	162	0,073
	Batı çıkış	0,3	159	0,000	0,381	159	0,000
KOİ	Doğu giriş	0,092	161	0,002	0,805	161	0,000
	Doğu çıkış	0,056	160	,200*	0,988	160	0,189
	Batı giriş	0,06	162	,200*	0,985	162	0,072
	Batı çıkış	0,235	159	0,000	0,487	159	0,000
AKM	Doğu giriş	0,153	161	0,000	0,702	161	0,000
	Doğu çıkış	0,181	160	0,000	0,824	160	0,000
	Batı giriş	0,125	162	0,000	0,911	162	0,000
	Batı çıkış	0,334	159	0,000	0,296	159	0,000
TN	Doğu giriş	0,061	161	,200*	0,991	161	0,399
	Doğu çıkış	0,184	160	0,000	0,722	160	0,000
	Batı giriş	0,04	162	,200*	0,991	162	0,370
	Batı çıkış	0,203	159	0,000	0,799	159	0,000
TP	Doğu giriş	0,048	161	,200*	0,987	161	0,142
	Doğu çıkış	0,127	160	0,000	0,928	160	0,000
	Batı giriş	0,046	162	,200*	0,986	162	0,100
	Batı çıkış	0,173	159	0,000	0,764	159	0,000

*, This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Çizelge 3.2. Homojenlik Testi (Test of Homogeneity of Variances)

Tesis	Parametre	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Doğu giriş	Sıcaklık	2,424	3	1270	0,064
	pH	12,964	3	1270	0,000
	İletkenlik	28,558	3	1265	0,000
	BOİ ₅	6,884	3	619	0,000
	KOİ	8,17	3	1195	0,000
	AKM	2,921	3	1195	0,033
	TN	10,76	3	756	0,000
	TP	4,069	3	751	0,007
Doğu çıkış	Sıcaklık	15,294	3	1259	0,000
	pH	1,491	3	1264	0,215
	İletkenlik	13,781	3	1259	0,000
	BOİ ₅	3,083	3	612	0,027
	KOİ	1,43	3	1188	0,232
	AKM	7,833	3	1187	0,000
	TN	1,444	3	753	0,229
	TP	2,613	3	749	0,050
Batı giriş	Sıcaklık	3,391	3	1273	0,017
	pH	4,758	3	1273	0,003
	İletkenlik	7,18	3	1268	0,000
	BOİ ₅	0,111	3	612	0,953
	KOİ	2,674	3	1193	0,046
	AKM	7,563	3	1192	0,000
	TN	5,14	3	755	0,002
	TP	1,889	3	753	0,130
Batı çıkış	Sıcaklık	14,007	3	1260	0,000
	pH	1,159	3	1260	0,324
	İletkenlik	5,477	3	1256	0,001
	BOİ ₅	2,354	3	601	0,071
	KOİ	4,875	3	1183	0,002
	AKM	2,035	3	1184	0,107
	TN	13,852	3	750	0,000
	TP	0,511	3	748	0,675

Gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal-Wallis H testi ile Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Söz konusu gruplar; mevsimler arasındaki karşılaştırmalarda mevsimler, yıllar arasındaki karşılaştırmada ise 2009-2013 yılları arasındaki beş yıl olup; bu çalışmadaki gruplar arası karşılaştırmaların yapıldığı tüm çizelgelerde “grup” ismi altında belirtilmiştir. Çoklu (post-hoc) karşılaştırmalarda Bonferroni düzeltmesi

yapılmıştır. Anlamlılık düzeyi olarak $\alpha=0,05$ alınmıştır. İstatistiksel analizler için SPSS (Statistical Package for the Social Sciences); analizlerin kutu-bıyık diyagramları ile grafiksel olarak gösterilmesi amacıyla MİNİTAB istatistik paket programları kullanılmıştır.

Bilimsel araştırmaların sonuçları genellikle P değeri kullanılarak rapor edilir (Little 1981). P değeri ya da önemlilik seviyesi, doğru olan kontrol hipotezinin reddedilmesi durumunda içine dūřülecek yanılmış olma olasılığının bir göstergesidir (Schervish 1996, Huang ve ark. 1997). İstatistiksel analizler sonucunda hipotezin reddedilmesi durumunda, içine dūřülecek yanılmış olma olasılığının ne kadar olduğu hesaplanır. Tıp, ziraat, biyoloji, ormancılık gibi birçok bilim dalında yapılan çalışmalar için genel olarak kabul görmüş yanılma olasılığı ise $\alpha=0,05$ (% 5) ve $\alpha=0,01$ (%1)'dir (Cohen 1994).

Kruskal-Wallis H testi, tek yönlü varyans analizinin nonparametrik karşılığıdır ve ikiden fazla bağımsız örnek için yapılmaktadır. Diğer nonparametrik yöntemlerde olduğu gibi burada da grupların ortalamaları değil, ortancaları (medyan) karşılaştırılır. Eğer Kruskal-Wallis H testi ile ortancaların eşit olmadığı saptanırsa (yani $p<0,05$ bulunursa) post hoc çoklu karşılaştırma yöntemi olarak, yanılma düzeyini aşağı çekerek, Bonferroni düzeltmeli Mann-Whitney U testi uygulanır (Gürel 2004).

Kruskal-Wallis H testinde test edilen hipotezler aşağıdaki gibidir:

H_0 : K örnek aynı medyanlı sürekli toplumlardan alınmış örneklerdir.

H_1 : K örnekten en az birinin medyanı farklıdır.

Kruskal-Wallis H testi sonrası belirlenen anlamlı farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını belirlemek üzere tamamlayıcı karşılaştırma tekniklerine geçilmiştir. Bu amaçla kullanılan özel bir test tekniği bulunmadığından ikili karşılaştırmalarda tercih edilen Mann-Whitney U testi uygulanmıştır (<http://mustafaotrar.net/istatistik/ornek-bulgulartablo-yorumlari/>, 2017). Bu test, üç ve daha fazla gruba ilişkin dağılımın karşılaştırılması sonucu gruplar arasında anlamlı bir fark bulunması durumunda; farklılığın kaynağını tespit etmek, hangi grupların birbirlerinden farklı olduğunu

belirlemek için yapılan parametrik olmayan çoklu karşılaştırma testlerindedir (http://www.istatistikanaliz.com/kruskal_wallish_testi.asp, 2016). Mann-Whitney U testi, iki bağımsız grup için elde edilen puanların birbirinden anlamlı bir şekilde farklılık gösterip göstermediğini test etmek için uygulanır. Mann-Whitney U Testi, grupların ortanca (medyan) değerlerini karşılaştırır. Sürekli değişkenlerin, iki grup içerisinde değerlerini sıralı hale dönüştürür. Böylece iki grup arasındaki sıralamanın farklı olup olmadığını değerlendirir (Doymuş 2009). İki bağımsız örnek için yapılmakta olup ordinal düzeyde parametrik testlerdeki karşılığı t testidir (Özdamar 2004). Hipotez:

H_0 : A ve B toplumlari aynı dağılıma sahiptir.

H_1 : A ve B toplumlari farklı dağılıma sahiptir.

Bonferroni düzeltmesi anlamlılık düzeyi / grup sayısı formülü ile belirlenmektedir (Vialatte ve Cichocki 2008). Bu çalışmada da, anlamlılık düzeyi için; Mann-Whitney U testi ile aradaki farkın test edildiği grup sayısına göre Bonferroni düzeltmesi yapılmıştır. Verilerin analizinde grup sayısının fazla olması, ikili karşılaştırmalarda hata payının artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle Bonferroni düzeltmesi yapılmıştır. Bonferroni düzeltmesi; aynı veri üstünde ikiden fazla grupta çalışırken, birbirleriyle karşılaştırdığımız gruptan birinin etkisinin çok büyük olma ihtimaline karşın güven düzeyinin yeniden düzenlenmesidir. Bu düzeltmenin veri üstündeki etkisinden ziyade, grup sayısı fazla olduğu için hata payını azaltmaya yönelik olmasından bahsedebiliriz. Eğer n sayıda hipotezimiz varsa, yapılan analizler sonucunda anlamlı fark vardır demek için güven sınırı olarak kullanacağımız olasılığın % 5 değil % $(5/n)$ olarak kullanılması gerekmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Atıksuda Ölçülen Parametrelerin Mevsimsel Değişime Göre İncelenmesi

Bu bölümde, Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesislerindeki giriş ve çıkış atıksuyunda 2009-2013 yılları arasında ölçülen pH, iletkenlik, BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerlerinin mevsimlere göre değişim gösterip göstermediği istatistiksel metodlarla araştırılmıştır.

Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle incelenmiştir. Verilerin normal dağılım göstermemesi ve varyansların heterojenliğinden dolayı parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmıştır. Gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal-Wallis H testi ile Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Çoklu (post-hoc) karşılaştırmalarda Bonferroni düzeltmesi yapılmıştır. Anlamlılık düzeyi olarak $\alpha=0,05$ alınmıştır.

SPSS yardımıyla yapılan Kruskal-Wallis H testi ile Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'teki "(K-W) P" sütununda görülen anlamlılık düzeyleri elde edilmiştir. Kirlenici parametreler arasında mevsimlere göre anlamlı fark olup olmadığını belirlemek üzere, aşağıdaki hipotezler kurulmuştur:

H₀: Grupların ortalamaları arasındaki fark anlamlı değildir.

H₁: En az iki grup ortalaması arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'teki "(K-W) P" sütunlarında yer alan P anlamlılık düzeylerine göre şöyle bir değerlendirme yapılır. $P>\alpha$ ise H₀ reddedilemez ($\alpha=0,05$). Bu durumda hangi değişken parametrenin mevsimlere göre değişimi inceleniyorsa, o parametre medyanlarının birbirine benzer olduğu sonucuna ulaşılır. Yani mevsimlere göre anlamlı bir değişim göstermediği istatistiksel olarak ortaya konmuş olur. $P<\alpha$ ise H₀ reddedilir ($\alpha=0,05$). Bu durumda kabul edilen hipotez H₁ olur. En az bir grubun medyanı farklıdır ve hangisinin farklı olduğunu bulmak için o grubun mevsimlere göre ikili karşılaştırılmasını yapmak gerekmektedir.

Çizelge 4.1. Doğu AAT'ye gelen ham atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması

PARAMETRE	MEVSİM	N	MEDYAN	MİN-MAX	(K-W) P	MEVSİMLERE GÖRE İKİLİ KARŞILAŞTIRMA			
						grup no	sig.	grup no	sig.
SICAKLIK	1.KIŞ	324	14,3	4,2-23,2	<0,001	1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	328	15,9	8-24,2		1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	323	20,2	10-29,9		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	299	17,3	8,8-24,5					
PH	1.KIŞ	324	7,85	7,06-8,7	<0,001	1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	328	7,81	6,95-8,42		1-3	<0,008	2-4	0,032
	3.YAZ	323	7,74	6,82-8,33		1-4	0,011	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	299	7,82	6,99-8,62					
İLETKENLİK (µS/cm)	1.KIŞ	324	1118	442-1727	<0,001	1-2	0,008	2-3	0,213
	2.İLKBAHAR	328	1091	410-1310		1-3	0,082	2-4	<0,008
	3.YAZ	319	1089	592-1666		1-4	0,003	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	298	1150,5	346-1539					
BOİ ₅ (mg/L)	1.KIŞ	170	185	47-440	<0,001	1-2	0,007	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	155	169	64-352		1-3	0,182	2-4	0,001
	3.YAZ	162	193,25	55-534		1-4	0,383	3-4	0,586
	4.SONBAHAR	136	185,5	82-379					
KOİ (mg/L)	1.KIŞ	303	456	120-1150	<0,001	1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	304	398	144-904		1-3	0,660	2-4	<0,008
	3.YAZ	303	451	154-1655		1-4	0,078	3-4	0,206
	4.SONBAHAR	289	473	172-1099					
AKM (mg/L)	1.KIŞ	303	184	49-800	<0,001	1-2	0,001	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	304	162	50-580		1-3	0,003	2-4	<0,008
	3.YAZ	303	192	54-940		1-4	0,008	3-4	0,849
	4.SONBAHAR	289	190	40-644					
TN (mg/L)	1.KIŞ	188	49,25	16-73	<0,001	1-2	<0,008	2-3	0,001
	2.İLKBAHAR	190	43	17-61		1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	192	45	21-71		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	190	55	18-94					
TP (mg/L)	1.KIŞ	186	6,35	1,7-12,2	<0,001	1-2	0,005	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	191	6	2,7-9,2		1-3	0,058	2-4	<0,008
	3.YAZ	192	6,5	2,9-11,5		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	186	7,2	2,9-11,9					

Yapılan istatistiksel değerlendirmede Doğu ve Batı AAT için Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'teki “(K-W) P” sütunlarında yer alan P anlamlılık düzeyleri her bir parametre için P<0,05 bulunmuştur. Yukarıda da belirtildiği gibi; Kruskal-Wallis H testi ile ortancaların eşit olmadığı saptanırsa (yani p<0,05 bulunursa) post-hoc çoklu

karşılaştırma yöntemi olarak, yanılma düzeyini aşağı çekerek, Bonferroni düzeltilmeli Mann-Whitney U testi uygulanır (Gürel 2004).

Çizelge 4.2. Doğu AAT'den çıkan atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması

PARAMETRE	MEVSİM	N	MEDYAN	MİN-MAX	(K-W) P	MEVSİMLERE GÖRE İKİLİ KARŞILAŞTIRMA			
						grup no	sig.	grup no	sig.
SICAKLIK	1.KIŞ	314	14,3	7,2-20,5		1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	328	16,6	7,6-25,9	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	322	20,6	9,2-31,4		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	299	18,7	8,4-25,3					
PH	1.KIŞ	319	7,56	6,65-8,61		1-2	0,272	2-3	0,005
	2. İLKBAHAR	328	7,62	6,51-8,48	<0,001	1-3	<0,008	2-4	0,142
	3.YAZ	322	7,66	6,83-8,56		1-4	0,906	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	299	7,59	7,05-8,44					
İLETKENLİK (µS/cm)	1.KIŞ	319	884	556-1133		1-2	0,967	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	328	882,5	636-1171	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	318	901,5	675-1183		1-4	<0,008	3-4	0,560
	4.SONBAHAR	298	907	591-2140					
BOİ ₅ (mg/L)	1.KIŞ	167	9	3-25		1-2	0,216	2-3	0,073
	2.İLKBAHAR	155	10	3-152	0,02	1-3	0,648	2-4	0,003
	3.YAZ	161	9	3-19		1-4	0,056	3-4	0,092
	4.SONBAHAR	133	9	3-25					
KOİ (mg/L)	1.KIŞ	297	27	9-55		1-2	0,029	2-3	0,049
	2.İLKBAHAR	304	29	10-484	<0,001	1-3	<0,008	2-4	0,01
	3.YAZ	302	30	14-768		1-4	0,720	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	289	27	14-122					
AKM (mg/L)	1.KIŞ	297	6	1-27		1-2	0,291	2-3	0,012
	2.İLKBAHAR	304	6	1-114	0,01	1-3	0,110	2-4	0,004
	3.YAZ	301	5	1-40		1-4	0,049	3-4	0,522
	4.SONBAHAR	289	5	2-51					
TN (mg/L)	1.KIŞ	185	8,2	1-36		1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	191	6,4	2-29	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	191	4,6	1-95		1-4	<0,008	3-4	0,811
	4.SONBAHAR	190	4,45	1-21					
TP (mg/L)	1.KIŞ	183	1,8	0,1-4,8		1-2	0,021	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	191	1,4	0,1-6,5	<0,001	1-3	<0,008	2-4	0,031
	3.YAZ	192	0,9	0,1-20,7		1-4	<0,008	3-4	0,008
	4.SONBAHAR	187	1,1	0,1-11,9					

Mevsimleri kendi arasında ikişerli gruplar halinde karşılaştırmak için, yeniden hipotez kurulması gerekmektedir. İkili karşılaştırmalar için, Bonferroni düzeltilmeli Mann-Whitney U testinde kurulan hipotezler aşağıdaki şekildedir:

H_0 = Değişkenlerin dağılımları A ve B mevsimlerinde aynıdır.

H_1 = Değişkenlerin dağılımları A ve B mevsimlerinde farklıdır.

Çizelge 4.3. Batı AAT'ye gelen ham atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması

PARAMETRE	MEVSİM	N	MEDYAN	MİN-MAX	(K-W) P	MEVSİMLERE GÖRE İKİLİ KARŞILAŞTIRMA			
						grup no	sig.	grup no	sig.
SICAKLIK	1.KIŞ	327	13,6	6,3-23,1		1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	327	15,8	1,9-23,6	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	324	19,8	10,9-27,7		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	299	18	7,9-27,2					
PH	1.KIŞ	327	7,91	6,3-9,44		1-2	0,009	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	327	7,88	7,18-9,10	<0,001	1-3	<0,008	2-4	0,094
	3.YAZ	324	7,76	5,93-9,75		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	299	7,86	6,97-8,84					
İLETKENLİK (µS/cm)	1.KIŞ	327	1359	408-1977		1-2	0,001	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	327	1430	704-2340	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	320	1580	795-2800		1-4	<0,008	3-4	0,957
	4.SONBAHAR	298	1597,5	571-3280					
BOİ ₅ (mg/L)	1.KIŞ	169	189	57-487		1-2	0,800	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	152	194,5	40-495	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	161	260	83-520		1-4	<0,008	3-4	0,612
	4.SONBAHAR	134	275	97-604					
KOİ (mg/L)	1.KIŞ	303	477	74-1095		1-2	0,257	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	303	468	90-1268	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	304	621,5	195-1622		1-4	<0,008	3-4	0,345
	4.SONBAHAR	287	677	242-1716					
AKM (mg/L)	1.KIŞ	301	176	26-790		1-2	0,714	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	303	184	30-786	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	305	248	80-971		1-4	<0,008	3-4	0,248
	4.SONBAHAR	287	264,5	77-1920					
TN (mg/L)	1.KIŞ	188	48	14-105		1-2	0,424	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	190	48	14-80	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	192	58,5	17-133		1-4	<0,008	3-4	0,174
	4.SONBAHAR	189	60	15-107					
TP (mg/L)	1.KIŞ	189	6	2-16		1-2	0,724	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	190	5,92	1,6-10,8	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	193	7,6	3,6-16		1-4	<0,008	3-4	0,829
	4.SONBAHAR	185	7,9	2,6-15,4					

Bonferroni düzeltmesi; anlamlılık düzeyi / grup sayısı formülü ile belirlenmektedir (Vialatte ve Cichocki 2008). Burada mevsimleri birbirleriyle karşılaştırdığımız için elde ettiğimiz gruplar; kış-ilkbahar, kış-yaz, kış-sonbahar, ilkbahar-yaz, ilkbahar-sonbahar, yaz-sonbahar olmak üzere altı tanedir.

Çizelge 4.4. Batı AAT'den çıkan atıksu ölçüm verilerinin mevsimlere göre karşılaştırılması

PARAMETRE	MEVSİM	N	MEDYAN	MİN-MAX	(K-W) P	MEVSİMLERE GÖRE İKİLİ KARŞILAŞTIRMA			
						grup no	sig.	grup no	sig.
SICAKLIK	1.KIŞ	323	13,5	4,3-23,4		1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	323	16	9,9-25,8	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	323	19,4	12,2-28,4		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	295	18	8,2-27,8					
PH	1.KIŞ	323	7,65	7,03-8,34		1-2	0,280	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	323	7,7	6,85-8,35	<0,001	1-3	<0,008	2-4	0,031
	3.YAZ	323	7,77	6,38-8,34		1-4	0,001	3-4	0,075
	4.SONBAHAR	295	7,7	7,10-8,18					
İLETKENLİK (μ S/cm)	1.KIŞ	323	1102	486-1810		1-2	<0,008	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	323	1150	664-1512	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	319	1304	773-1833		1-4	<0,008	3-4	0,859
	4.SONBAHAR	295	1308	819-1752					
BOİ ₅ (mg/L)	1.KIŞ	164	12	6-140		1-2	0,003	2-3	0,754
	2.İLKBAHAR	148	13	4-89	0,011	1-3	0,008	2-4	0,053
	3.YAZ	162	13	3-75		1-4	0,699	3-4	0,103
	4.SONBAHAR	131	11	5-175					
KOİ (mg/L)	1.KIŞ	301	34	19-254		1-2	0,017	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	299	36	15-385	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	303	47	20-156		1-4	<0,008	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	284	41	19-288					
AKM (mg/L)	1.KIŞ	301	7	2-228		1-2	0,825	2-3	0,157
	2.İLKBAHAR	299	7	1-244	0,001	1-3	0,017	2-4	0,003
	3.YAZ	304	6	1-100		1-4	<0,008	3-4	0,293
	4.SONBAHAR	284	5,45	1-180					
TN (mg/L)	1.KIŞ	187	8,1	2-28		1-2	0,210	2-3	<0,008
	2.İLKBAHAR	189	8,4	1-32	<0,001	1-3	<0,008	2-4	0,354
	3.YAZ	192	6	1-34		1-4	0,887	3-4	<0,008
	4.SONBAHAR	186	8	2-31					
TP (mg/L)	1.KIŞ	188	1,2	0,2-5		1-2	0,841	2-3	0,001
	2.İLKBAHAR	189	1,2	0,2-5,7	<0,001	1-3	<0,008	2-4	<0,008
	3.YAZ	193	0,84	0,2-9,7		1-4	<0,008	3-4	0,304
	4.SONBAHAR	182	0,66	0,1-6,2					

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te görüldüğü gibi, mevsimlere göre ikili karşılaştırmalarda mevsimler; SPSS programında 1:kış, 2:ilkbahar, 3:yaz, 4:sonbahar şeklinde numaralandırılarak ifade edilmiştir (bkz. Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4 “Mevsimlere göre ikili karşılaştırma” sütunları). Anlamlılık düzeyi $\alpha=0,05$ 'tir. Bu durumda gruplar arasındaki fark test edilirken yapılacak Mann-Whitney U testindeki α değeri; $\alpha=0,05/6=0,008$ 'dir. Giriş bölümünde açıklandığı gibi bonferroni düzeltmesi, veri üstündeki etkiden çok grup sayısı fazla olduğu için hata payını azaltmaya yöneliktir.

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'teki "Mevsimlere göre ikili karşılaştırma" sütununda Bonferroni düzeltilmeli α değerine göre önem seviyeleri (P değerleri) yer almaktadır. Buna göre istatistiksel açıdan karşılaştırılan gruplar arasında anlamlı farklılık olup olmadığı bilgisine ulaşılarak sonuçlar ortaya konmaktadır. $P > \alpha$ ise H_0 reddedilemez ($\alpha=0,008$). Bu durumda değişkenlerin, A ve B mevsimlerindeki dağılımlarının aynı olduğu sonucuna ulaşılır. Yani değişken dağılımının, (hangi iki mevsim için karşılaştırılıyorsa) farklılık göstermediği istatistiksel olarak ortaya konmuş olur. $P < \alpha$ ise H_0 reddedilir ($\alpha=0,008$). Bu durumda değişkenlerin dağılımları A ve B mevsimlerinde farklıdır. $P < \alpha$ olduğundaki önem seviyeleri; bir başka deyişle istatistiksel açıdan anlamlı farklılık olduğu durumlar, Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te "Mevsimlere göre ikili karşılaştırma" sütunlarındaki diğer P değerlerinden ($P > \alpha$ durumundaki önem seviyelerinden) ayırt edilebilmesi için koyu renkli gösterilmiştir.

Mevsimler arasındaki benzerlik ve farklılıkların değerlendirilmesinde; kış aylarından başlamak üzere birbirini takip eden mevsim geçiş sıraları (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca söz konusu çizelgelerde medyan, minimum ve maksimum değerleri de yer almaktadır.

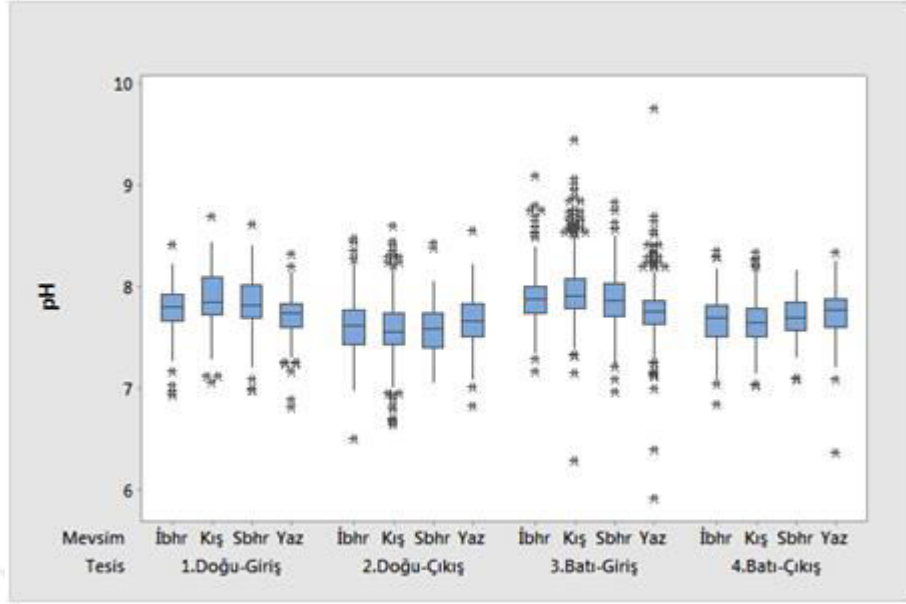
4.1.1. pH

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te, pH için verilen "(K-W) P" sütunundaki anlamlılık düzeyleri; Doğu AAT giriş-çıkışı ve Batı AAT giriş-çıkışında $\alpha=0,05$ 'ten küçük bulunmuştur. Bu durum; mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT giriş atıksuyu pH değerlerinde, sonbahar-kış ($P=0,011$) arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Diğer mevsimler (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar) arasında anlamlı farklılık ($P < 0,008$) vardır (Çizelge 4.1). Çıkış atıksuyundaki pH değerlerinde, kış-ilkbahar ($P=0,272$) ile sonbahar-kış ($P=0,906$) geçişinde anlamlı farklılık olmayıp; ilkbahar-yaz ve yaz-sonbahar ($P < 0,008$) mevsimleri arasında anlamlı farklılık vardır (Çizelge 4.2).

Batı AAT girişindeki pH değerlerinde, kıştan ilkbahara geçerken ($P=0,009$) anlamlı farklılık görülmezken; takip eden diğer mevsimler (ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır (Çizelge 4.3). Tesis çıkışında ise, birbirini takip eden mevsimlere göre pH değişimi şu şekildedir: Kış-ilkbahar ($P=0,280$) arasında anlamlı farklılık bulunmaz, ilkbahardan yaz ($P<0,008$) geçişte anlamlı farklılık mevcuttur. Sonrasındaki yaz ve sonbahar mevsimleri arasında ($P=0,075$) anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Ancak sonbahar ve kış arasında ($P=0,001$) anlamlı farklılık vardır (Çizelge 4.4).

Şekil 4.1’de Doğu ve Batı AAT’lerdeki giriş ve çıkış atıksu pH değerlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Şekilde görülen merkez dikdörtgen kutular ‘*interquartile range-IQR*’ olarak tabir edilen; kartiller veya çeyrekler arası bölgeyi yani medyan değerlerinin yoğunlaştığı yüzde aralıklarını (tipik medyan değerleri) ifade etmektedir. Doğu AAT girişindeki pH’a ait tipik medyan değerleri, dört mevsim boyunca yaklaşık olarak 7,6-8; çıkışında 7,5-7,8 arasında değişmektedir. Batı AAT’de ise girişte 7,5-8,1; çıkışta 7,5-7,9 arasında değişmektedir. Tesis girişindeki pH değerlerinin tesis çıkışlarında az miktarda düştüğü görülmektedir. Ortamın pH’sı, mikroorganizmaların aktiviteleri ile değişmektedir. Biyolojik arıtma prosesinde, biyolojik aktivite sonucu H^+ iyonları artış göstermektedir, bunun sonucunda; $pH = -\log [H^+]$ eşitliği gereğince tesis çıkışında daha düşük pH değeri ölçülebilmektedir (Efe 2016). Örneğin biyolojik arıtma sırasında, amonyum (NH_4^+) azot kaynağı olarak kullanıldığında ortama H^+ verildiğinden pH düşer. Çünkü nitrifikasyon sırasında NH_4^+ iyonları NO_3^- ’e dönüşerek ortama H^+ iyonları vermektedir. Nitrat iyonları (NO_3^-) azot kaynağı olarak kullanıldığında ise denitrifikasyon oluşur. Burada NO_3^- , N_2 gazına dönüştüğü için ortamdan H^+ uzaklaşır ve pH yükselir (Anonim 2005a). Ayrıca, atıksu arıtma tesislerindeki pH değeri mevsimsel değişim ve tesislere gelen atıksuyun karakterine bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir.



Şekil 4.1. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu pH değerlerinin mevsimlere göre değişimi

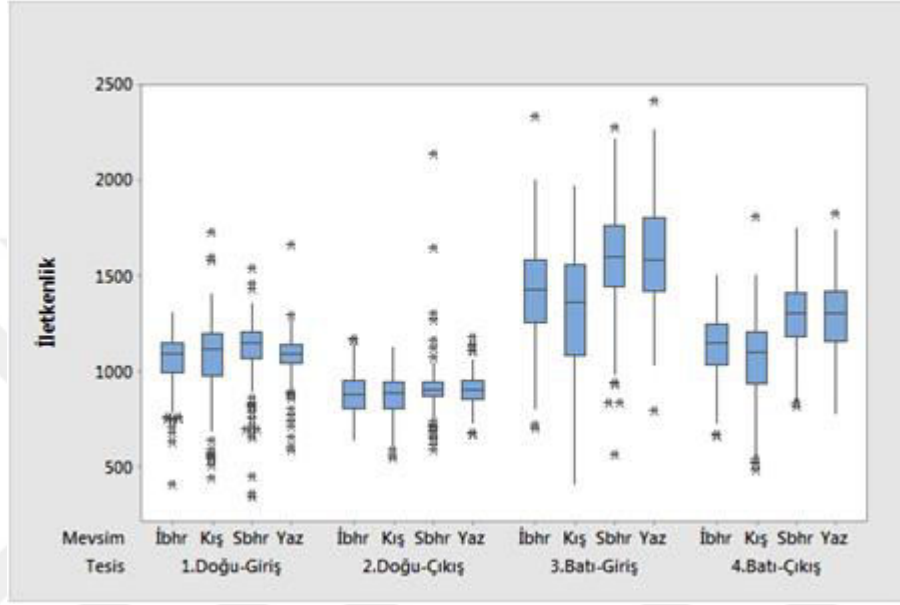
4.1.2. İletkenlik

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’te, iletkenlik için verilen “(K-W) P” sütunundaki anlamlılık düzeyleri; Doğu AAT giriş-çıkışı ve Batı AAT giriş-çıkışında $\alpha=0,05$ ’ten küçük bulunmuştur. Bu durum; mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT giriş iletkenlik değerleri ilkbahar-yaz ($P=0,213$) hariç diğer mevsimler (kış-ilkbahar, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) arasında birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı farklılık ($P<0,008$) göstermektedir (Çizelge 4.1). Tesis çıkışı iletkenlik değerlerinde; kış-ilkbahar ($P=0,967$) arasında anlamlı farklılık olmayıp ilkbahar-yaz ($P<0,008$) arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır. Yaz-sonbahar mevsimleri ($P=0,560$) geçişinde anlamlı farklılık bulunmazken sonbahar ve kış mevsimi ($P<0,008$) arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır (Çizelge 4.2).

Batı AAT giriş ve çıkış atıksuyu iletkenlik değerlerinde, yazdan sonbahara ($P>0,008$) geçişte anlamlı farklılık bulunmamaktadır, fakat diğer mevsimler (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır (Çizelge 4.3 ve 4.4).

Şekil 4.2’de Doğu ve Batı AAT’lerdeki giriş ve çıkış atıksu iletkenlik değerlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Doğu AAT girişindeki iletkenliğe ait tipik medyan değerleri, dört mevsim boyunca yaklaşık olarak 1000-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$; çıkışında 800-950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Batı AAT’de ise girişte 1100-1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$; çıkışta 950-1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.



Şekil 4.2. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu iletkenlik değerlerinin mevsimlere göre değişimi

Mevsimler arasında görülen bu farklılıkta, yağış etkisi ile gerçekleşen seyrelmelerin etkisinin olduğu düşünülmektedir. Ayrıca baraj havzalarında mevsimlere bağlı oluşan değişimler, kar erimesi ve yağışlarla topraktan suya iyon geçişinin artması vb. nedenler, tesise giren suda da değişiklik yapabileceğinden sudaki iletkenlik değerinin mevsimlere göre değişebileceği düşünülmektedir.

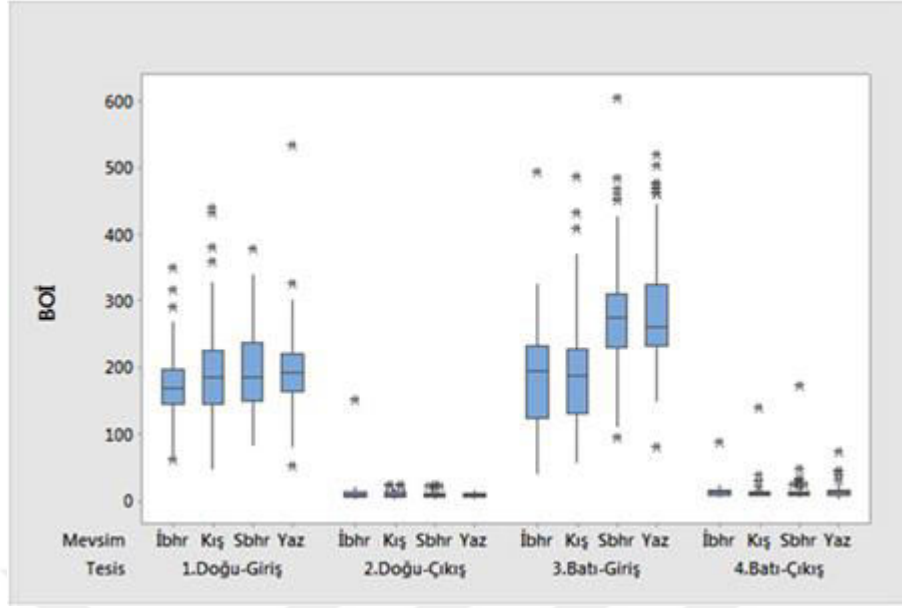
4.1.3. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BO₅)

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4’te, BO₅ için verilen “(K-W) P” sütunundaki anlamlılık düzeyleri; Doğu AAT giriş-çıkışı ve Batı AAT giriş-çıkışında $\alpha=0,05$ ’ten küçük bulunmuştur. Bu durum; mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT BOİ₅ giriş konsantrasyonlarında, kış-ilkbahar ile ilkbahar-yaz mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($P<0,008$). Yaz-sonbahar ($P=0,586$) ve sonbahar-kış ($P=0,383$) mevsimleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Bir başka deyişle, kıştan yazıya geçene kadar olan mevsim döngüsünün ilk yarısında, mevsimler arasında anlamlı ölçüde anlamlı farklılık olup yazdan kışa geçişteki diğer döngüde anlamlı farklılık görülmemiştir (Çizelge 4.1). İlkbahardaki giriş BOİ₅ medyan değeri, diğer mevsimlere kıyasla daha düşüktür ve bu durumun yağış kaynaklı seyrelmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çıkış atıksuyundaki BOİ₅ değerleri, birbirini takip eden mevsimler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık ($P>0,008$) göstermemektedir (Çizelge 4.2).

Batı AAT giriş BOİ₅ değerlerinde, kış-ilkbahar mevsimleri arasında ($P=0,800$) anlamlı farklılık görülmezken ilkbahardan yazıya geçiş arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır ($P<0,008$). Sonrasında gelen yaz-sonbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık ($P=0,612$) bulunmamaktadır. Ardındaki; sonbahar-kış ($P<0,008$) mevsimleri arasında anlamlı farklılık vardır (Çizelge 4.3). Çıkış BOİ₅ değerlerinde ise, yalnızca kıştan ilkbahara geçerken anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır. Diğer mevsimler (ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık ($P>0,008$) bulunmamaktadır (Çizelge 4.4).

Şekil 4.3'te Doğu ve Batı AAT'lerdeki giriş ve çıkış atıksu BOİ₅ değerlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Doğu AAT girişindeki BOİ₅'ye ait tipik medyan değerleri, dört mevsim boyunca yaklaşık olarak 140-240 mg/L; çıkışta 15-20 mg/L arasında değişmektedir. Batı AAT'de ise girişte 120-320 mg/L; çıkışta 25-30 mg/L arasında değişmektedir.



Şekil 4.3. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu BOI₅ değerlerinin mevsimlere göre değişimi

Tesise gelen atıksudaki BOI₅, arıtma işlemi sonucu büyük oranda giderilmektedir. Mevsimlere göre tesis çıkış BOI₅ medyanlarının birbirlerine benzer şekilde değiştiği görülür. Bu durumun arıtmadaki çöktürme işleminin verimiyle ilgili olabileceği ayrıca BOI₅ değerlerinin; bakteriyolojik aktivite, sıcaklık, yağışlar ve arıtma tesisi işletme parametrelerinden etkilendiği belirtilmektedir (Efe 2016).

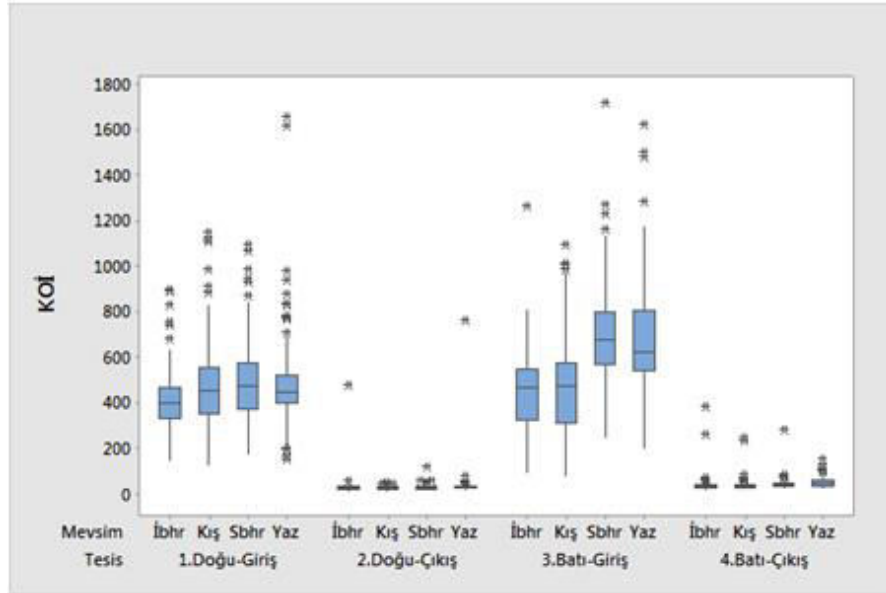
4.1.4. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te, KOİ konsantrasyonu için verilen "(K-W) P" sütunundaki anlamlılık düzeyleri; Doğu AAT giriş-çıkışı ve Batı AAT giriş-çıkışında $\alpha=0,05$ 'ten küçük bulunmuştur. Bu durum; mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT girişindeki KOİ konsantrasyonları; kıştan yaz (P<0,008) geçene kadar olan mevsim döngüsünün ilk yarısında birbirlerinden anlamlı ölçüde farklılık göstermiştir. Yazdan kışa geçişteki diğer döngüde ise anlamlı bir farklılık (P>0,008) bulunmamaktadır (Çizelge 4.1). Çıkış atıksuyundaki KOİ'de yaz-sonbahar (P<0,008) geçişi hariç diğer mevsimler (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık (P>0,008) bulunmamaktadır (Çizelge 4.2).

Batı AAT giriş atıksuyu KOİ değerlerinde, kış-ilkbahar ($P=0,257$) mevsimleri arasında anlamlı farklılık görülmezken ilkbahardan yaz ($P<0,008$) geçişte farklılık mevcuttur. Ardından gelen yaz ve sonbahar ($P=0,345$) mevsimleri arasında farklılık bulunmamaktadır. Ancak sonbahar-kış ($P<0,008$) arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır (Çizelge 4.3). Çıkış atıksuyundaki KOİ’de sadece kış-ilkbahar mevsimleri ($P=0,017$) geçişi arasında anlamlı farklılık olmayıp diğer mevsimler (ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır (Çizelge 4.4). Arıtma işlemi sonrası yeteri kadar çöktürülemeyen çamur havuzdan kaçarak, çıkış KOİ değerlerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle çıkış KOİ değerlerinin; mevsim değişiminden ziyade, işletme şartlarından etkilendiği düşünülmektedir.

Şekil 4.4’te Doğu ve Batı AAT’lerdeki giriş ve çıkış atıksu KOİ değerlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Doğu AAT girişindeki KOİ’ye ait tipik medyan değerleri, dört mevsim boyunca yaklaşık olarak 330-600 mg/L; çıkışta 40-50 mg/L arasında değişmektedir. Batı AAT’de ise girişte 340-800 mg/L; çıkışta 50-60 mg/L arasında değişmektedir.



Şekil 4.4. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu KOİ değerlerinin mevsimlere göre değişimi

Her iki tesisin hizmet ettiği nüfus, bu bölgelerdeki yağmur suyu hatları uzunluğu, tesislere gelen atıksuyun farklı karakterde olması (endüstriyel özellikteki atıksuyun katkısı) vb. faktörler tesislere giren atıksuyu önemli ölçüde etkilemektedir. Song ve ark. (2006), mevsimler arasındaki BOİ ve KOİ giriş konsantrasyonları ve giriş yükleri farklılıklarının, kısmen deşarj farklılıklarına atfedilebileceğini belirtmişlerdir.

4.1.5. Askıda katı madde (AKM)

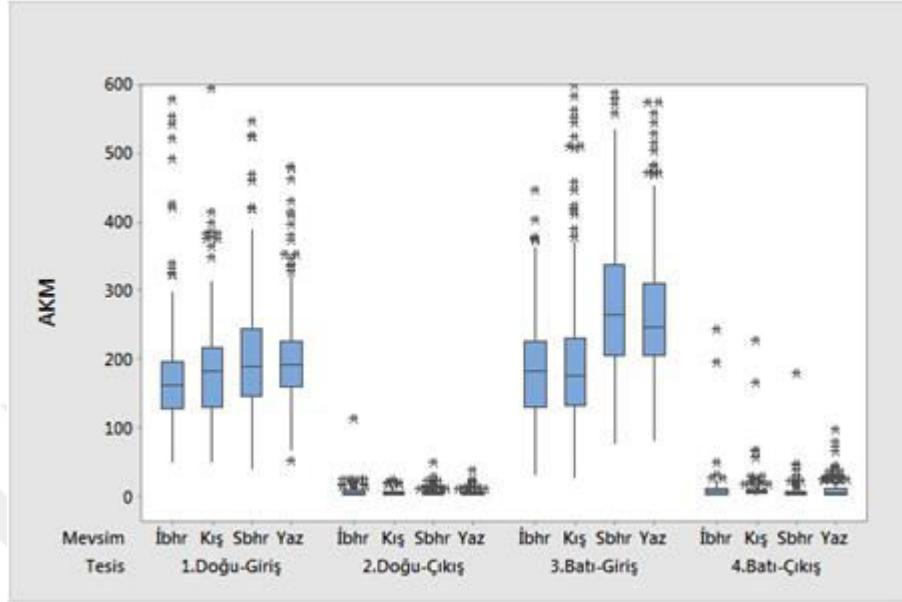
Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te, AKM için verilen “(K-W) P” sütunundaki anlamlılık düzeyleri; Doğu AAT giriş-çıkışı ve Batı AAT giriş-çıkışında $\alpha=0,05$ 'ten küçük bulunmuştur. Bu durum; mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT girişindeki AKM konsantrasyonları, sadece yaz-sonbahar ($P=0,849$) mevsimleri arasında benzerlik göstermektedir. Diğer mevsimler (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır (Çizelge 4.1). Tesis çıkışında ise, birbiri ardına gelen dört mevsimdeki AKM konsantrasyonları arasında anlamlı farklılık ($P>0,008$) bulunmamaktadır (Çizelge 4.2).

Batı AAT girişindeki AKM değerlerinde, kış-ilkbahar ($P=0,714$) arasında benzer dağılım görülürken ilkbahardan yaz ($P<0,008$) geçişte anlamlı farklılık bulunmaktadır. Sonrasındaki yaz ve sonbahar mevsimleri arasında ($P=0,248$) anlamlı farklılık yoktur. Ardından gelen sonbahar-kış ($P<0,008$) mevsimleri arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır (Çizelge 4.3). Arıtma tesisi çıkışındaki AKM değerlerinde ise sadece sonbahar-kış mevsimleri ($P<0,008$) arasında anlamlı farklılık görülürken diğer mevsimler (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar) arasında anlamlı farklılık ($P>0,008$) bulunmamaktadır (Çizelge 4.4).

Şekil 4.5'te Doğu ve Batı AAT'lerindeki giriş ve çıkış atıksu AKM değerlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Doğu AAT girişindeki AKM'ye ait tipik medyan değerleri, dört mevsim boyunca yaklaşık olarak 120-240

mg/L; çıkışta 10-15 mg/L arasında değişmektedir. Batı AAT'de ise girişte 120-340 mg/L; çıkışta 10-20 mg/L arasında değişmektedir.



Şekil 4.5. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu AKM değerlerinin mevsimlere göre değişimi

4.1.6. Toplam azot (TN)

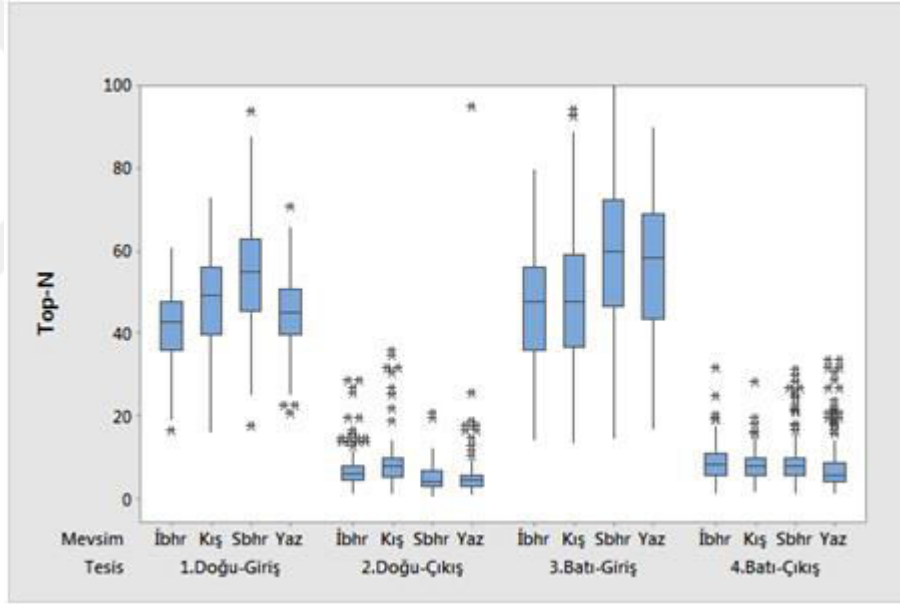
Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te, TN için verilen “(K-W) P” sütunundaki anlamlılık düzeyleri; Doğu AAT giriş-çıkışı ve Batı AAT giriş-çıkışında $\alpha=0,05$ 'ten küçük bulunmuştur. Bu durum; mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT girişindeki TN değerleri, dört mevsimde anlamlı ölçüde birbirlerinden farklı ($P<0,008$) bulunmuştur (Çizelge 4.1). Çıkış değerlerinde ise sadece yaz-sonbahar ($P=0,811$) geçişinde anlamlı farklılık yoktur ancak diğer mevsimler (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır (Çizelge 4.2).

Batı AAT girişindeki TN değerlerinde kış ve ilkbahar mevsimi arasında ($P=0,424$) anlamlı farklılık bulunmazken, ilkbahardan yaz ($P<0,008$) geçişte anlamlı farklılık vardır. Sonrasındaki yaz ve sonbahar ($P=0,174$) mevsimleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Ardından gelen sonbahar ve kış ($P<0,008$) mevsimleri arasında

anlamli farklılık bulunmaktadır (Çizelge 4.3). Batı AAT çıkışındaki TN değerlerinde; kış-ilkbahar mevsimleri arasında ($P=0,210$) anlamli farklılık olmayıp ilkbahar-yaz ($P<0,008$) ve bunu takip eden yaz-sonbahar ($P<0,008$) mevsimleri arasında anlamli farklılık bulunmaktadır. Ardından gelen sonbahar ve kış ($P=0,887$) mevsimleri arasında ise anlamli farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.4).

Şekil 4.6'da Doğu ve Batı AAT'lerdeki giriş ve çıkış atıksuyu TN değerlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Doğu AAT girişindeki TN'ye ait tipik medyan değerleri, dört mevsim boyunca yaklaşık olarak 36-62 mg/L; çıkışında 4-10 mg/L arasında değişmektedir. Batı AAT'de ise girişte 36-74 mg/L; çıkışta 4-11 mg/L arasında değişmektedir.



Şekil 4.6. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu TN değerlerinin mevsimlere göre değişimi

Çeşitli ekolojik faktörler azot çevrimini büyük ölçüde etkiler. Burada mikroorganizmanın habitatının fiziksel ve kimyasal karakteristikleri önemlidir. Bunların başlıcaları; organik ve inorganik bileşikler, pH, sıcaklık, oksijendir (Tamer ve ark. 1994). Sıcaklık, azot metabolizmasını etkilemektedir. Düşük sıcaklıkta aktivite çok daha azdır (Rheinheimer 1971). Arıtma tesislerinde nitratin azot gazına indirgendiği denitrifikasyon işlemi, havalandırılmayan tanklarda ve mekanik karıştırma işlemiyle gerçekleştirilir. Sıcaklığın denitrifikasyon prosesi üzerindeki etkisi önemlidir ve

$P=20^{\circ}\text{C}$ 'deki denitrifikasyon hızı yüzdesi T =sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) olmak üzere " $P=0,25 T^2$ " eşitliği ile belirlenir (Metcalf & Eddy 1991). Dolayısıyla mevsimler arasında, hem sıcaklık hem de yağış kaynaklı seyrelmeden ötürü atıksudaki toplam azot değerlerinin farklılık göstermesi beklenebilir. Bu çalışmada; Çizelge 4.2 ve 4.4'teki Doğu ve Batı AAT çıkışlarındaki TN konsantrasyon medyanları incelendiğinde, en düşük ortalama TN değerlerinin, sıcaklığın yüksek olduğu yaz mevsimine ait olduğu görülmektedir.

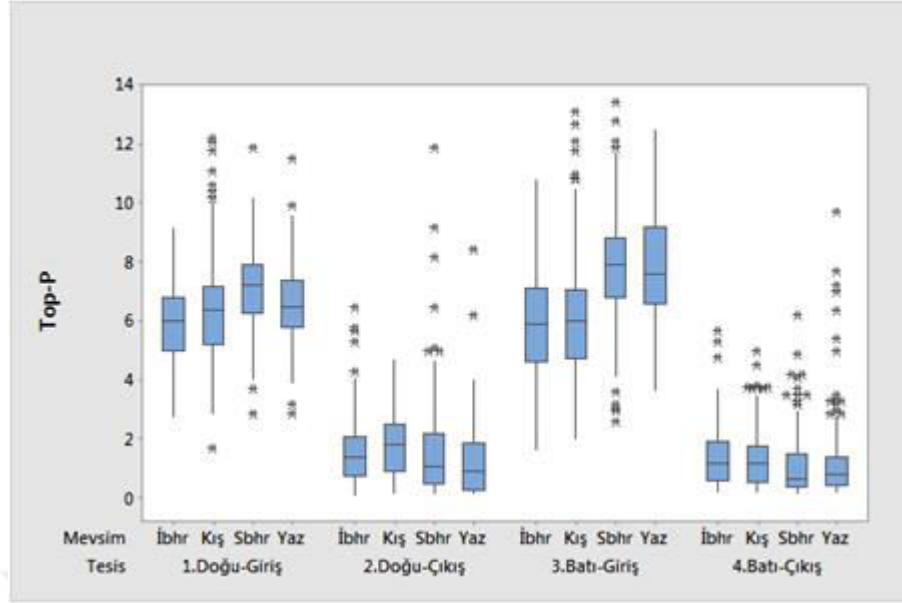
4.1.7. Toplam fosfor (TP)

Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'te, TP için verilen "(K-W) P" sütunundaki anlamlılık düzeyleri; Doğu AAT giriş-çıkışı ve Batı AAT giriş-çıkışında $\alpha=0,05$ 'ten küçük bulunmuştur. Bu durum; mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT giriş TP konsantrasyonlarında, birbirini takip eden dört mevsim arasında anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır (Çizelge 4.1). Çıkış TP değerlerinde, kış-ilkbahar ($P=0,021$) mevsimleri hariç diğer mevsimler (ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır (Çizelge 4.2).

Batı AAT giriş ve çıkış TP değerlerinde, kış ve ilkbahar mevsimleri arasında ($P>0,008$) anlamlı farklılık görülmezken ilkbahardan yaz geçişte anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır. Sonrasında gelen yaz ve sonbahar mevsimleri ($P>0,008$) arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Sonbahardan kışa geçerken, bu iki mevsim arasında anlamlı farklılık ($P<0,008$) bulunmaktadır (Çizelge 4.3 ve 4.4).

Şekil 4.7'de Doğu ve Batı AAT'lerdeki giriş ve çıkış atıksu TP değerlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Doğu AAT girişteki TP'ye ait tipik medyan değerleri, dört mevsim boyunca yaklaşık olarak 5-8 mg/L; çıkışta 0,4-2,5 mg/L arasında değişmektedir. Batı AAT'de ise girişte 4,6-9 mg/L; çıkışta 0,4-2 mg/L arasında değişmektedir.



Şekil 4.7. Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyu TP değerlerinin mevsimlere göre değişimi

4.2. Arıtma Tesisi Verimlerinin Mevsimsel Değişimi

2009-2013 yılları arasında Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesislerinden kompozit olarak alınan atıksu numunelerindeki BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP parametrelerine ait giderim verimlerinden yola çıkılarak, mevsimsel açıdan arıtma tesisi verimliliğinde farklılıklar olup olmadığı incelenmiştir.

Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle incelenmiştir. Verilerin normal dağılım göstermemesi ve varyansların heterojenliğinden dolayı parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmıştır. Gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal-Wallis H testi ile Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Çoklu (post-hoc) karşılaştırmalarda Bonferroni düzeltmesi yapılmıştır. Anlamlılık düzeyi olarak $\alpha=0,05$ alınmıştır.

SPSS yardımıyla yapılan Kruskal-Wallis H testi ile Çizelge 4.5 ve 4.6'nın "(K-W) P" satırlarında görülen anlamlılık düzeyleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Doğu AAT’de ölçülen verimlerin mevsimlere göre karşılaştırılması

MEVSİM		BOİ GİDERİM VERİMİ (%)	KOİ GİDERİM VERİMİ (%)	AKM GİDERİM VERİMİ (%)	TP GİDERİM VERİMİ (%)	TN GİDERİM VERİMİ (%)
Kış	N	164	297	297	179	184
	Median	94,78	93,97	96,67	71,08	84,78
	Minimum	76,60	77,21	62,32	23,40	30,00
	Maximum	98,60	98,04	99,52	98,13	97,00
İlkbahar	N	153	303	304	187	189
	Median	93,97	92,60	96,36	74,66	84,55
	Minimum	79,59	73,08	50,00	25,00	36,96
	Maximum	99,15	98,48	99,55	98,90	94,79
Yaz	N	161	301	301	190	190
	Median	95,03	93,18	97,28	85,94	89,82
	Minimum	85,06	76,02	75,00	230,34	51,35
	Maximum	98,77	98,34	99,70	98,41	98,41
Sonbahar	N	133	288	288	180	190
	Median	95,30	94,01	97,41	83,77	91,22
	Minimum	81,31	73,91	46,51	22,22	50,80
	Maximum	99,01	98,37	99,27	98,36	99,18
	(K-W) P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Gruplar (P)	Kış-İlkbahar	0,031	<0,001	0,021	0,296	0,703
	Kış-Yaz	0,247	0,013	0,023	<0,001	<0,001
	Kış-Sonbahar	0,025	0,164	0,014	<0,001	<0,001
	İlkbahar-Yaz	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	İlkbahar-Sonbahar	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Yaz-Sonbahar	0,157	<0,001	0,567	0,033	0,002

Kirletici parametrelerin giderim verimleri arasında, mevsimlere göre anlamlı fark olup olmadığını belirlemek üzere test edilen hipotezler aşağıdaki gibidir:

H₀: Grupların ortalamaları arasındaki fark anlamlı değildir.

H₁: En az iki grup ortalaması arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.6. Batı AAT’de ölçülen verimlerin mevsimlere göre karşılaştırılması

MEVSİM		BOİ GİDERİM VERİMİ (%)	KOİ GİDERİM VERİMİ (%)	AKM GİDERİM VERİMİ (%)	TP GİDERİM VERİMİ (%)	TN GİDERİM VERİMİ (%)
Kış	N	158	296	293	184	185
	Median	94,12	92,47	96,39	79,60	83,13
	Minimum	59,65	53,91	42,22	25,00	42,06
	Maximum	97,80	97,04	99,32	97,67	95,54
İlkbahar	N	147	301	301	188	189
	Median	92,96	91,49	96,48	79,70	83,02
	Minimum	59,02	27,36	33,90	22,73	35,60
	Maximum	97,66	96,93	98,92	97,75	95,31
Yaz	N	160	303	304	190	190
	Median	95,33	93,32	97,69	90,00	87,56
	Minimum	63,94	70,40	29,58	32,63	31,91
	Maximum	98,80	97,53	99,71	97,79	97,50
Sonbahar	N	130	284	284	178	185
	Median	95,56	93,85	97,66	91,77	87,16
	Minimum	39,24	65,80	69,39	32,26	43,21
	Maximum	98,69	98,19	99,74	98,00	96,54
(K-W) P		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Gruplar (P)	Kış-İlkbahar	0,006	0,001	0,791	0,615	0,459
	Kış-Yaz	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Kış-Sonbahar	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	İlkbahar-Yaz	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	İlkbahar-Sonbahar	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	Yaz-Sonbahar	0,825	0,002	0,655	0,139	0,058

Çizelge 4.5 ve 4.6’nın “(K-W) P” satırındaki P anlamlılık düzeylerine bakarak şöyle bir değerlendirme yapılır. $P > \alpha$ ise H_0 reddedilemez ($\alpha=0,05$). Bu durumda hangi değişken parametreye ait giderim veriminin mevsimlere göre değişimi inceleniyorsa o verim değeri medyanlarının birbirine benzer olduğu sonucuna ulaşılır. Yani verimin mevsimlere göre anlamlı bir değişim göstermediği istatistiksel olarak ortaya konmuş olur. $P < \alpha$ ise H_0 reddedilir ($\alpha=0,05$). Bu durumda kabul edilen hipotez H_1 olur. En az bir grubun medyanı farklıdır ve hangisinin farklı olduğunu bulmak için o grubun mevsimlere göre ikili karşılaştırmasını yapmak gerekir.

Yapılan istatistiksel değerlendirmede; Doğu ve Batı AAT için Çizelge 4.5 ve 4.6’nın “(K-W) P” satırında verilen anlamlılık düzeyleri, her bir parametre giderim verimi için $P < 0,001$ bulunmuştur. Yukarıda da belirtildiği gibi; Kruskal-Wallis H testi ile

ortancaların eşit olmadığı saptanırsa (yani $p < 0,05$ bulunursa) post-hoc çoklu karşılaştırma yöntemi olarak, yanılma düzeyini aşağı çekerek, Bonferroni düzeltmeli Mann-Whitney U testi uygulanır (Gürel 2004). Mevsimleri kendi arasında ikişerli gruplar halinde karşılaştırmak için, yeniden hipotez kurulması gerekir. Bonferroni düzeltmeli Mann-Whitney U testinde kurulan hipotezler aşağıdaki şekildedir.

H_0 = Değişkenlerin dağılımları A ve B mevsimlerinde aynıdır.

H_1 = Değişkenlerin dağılımları A ve B mevsimlerinde farklıdır.

Bonferroni düzeltmesi; anlamlılık düzeyi / grup sayısı formülü ile belirlenmektedir (Vialatte ve Cichocki 2008). Burada mevsimler birbirleriyle karşılaştırıldığı için elde edilen gruplar; kış-ilkbahar, kış-yaz, kış-sonbahar, ilkbahar-yaz, ilkbahar-sonbahar, yaz-sonbahar olmak üzere altı tanedir (bkz. Çizelge 4.5 ve 4.6 ‘gruplar’ satırı). Anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ ’tir. Bu durumda gruplar arasındaki fark test edilirken yapılacak Mann-Whitney U testindeki α değeri; $\alpha = 0,05/6 = 0,008$ ’dir. Çizelge 4.5 ve 4.6’daki “Gruplar (P)” satırında; Mann-Whitney U testi ile elde edilen, giderim verimlerinin mevsimlere göre ikili karşılaştırmalarına ait önem seviyeleri (P değerleri) yer almaktadır. Buna göre, istatistiksel açıdan karşılaştırılan gruplar arasında anlamlı farklılık olup olmadığı bilgisine ulaşılarak sonuçlar ortaya konulmaktadır. $P > \alpha$ ise H_0 reddedilemez ($\alpha = 0,008$). Bu durumda değişkenlerin, A ve B mevsimlerindeki dağılımlarının aynı olduğu sonucuna ulaşılır. Yani değişken dağılımının, (hangi iki mevsim için karşılaştırılıyorsa) farklılık göstermediği başka bir şey deyişle istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı ortaya konmuş olur. $P < \alpha$ ise H_0 reddedilir ($\alpha = 0,008$). Bu durumda değişkenlerin dağılımları A ve B mevsimlerinde farklıdır. Çizelge 4.5 ve 4.6’daki “Gruplar (P)” ile “(K-W) P” satırlarında; $P < \alpha$ durumunda olan önem seviyeleri bir başka deyişle istatistiksel açıdan anlamlı farklılık olduğu durumlar, diğer P değerlerinden ($P > \alpha$ durumundaki önem seviyelerinden) ayırt edilebilmesi için koyu renkli gösterilmiştir. Bu da H_0 hipotezinin reddedildiği yani karşılaştırılan iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılığın olduğu anlamına gelmektedir.

Mevsimler arasındaki benzerlik ve farklılıkların değerlendirilmesinde; kış aylarından başlamak üzere birbirini takip eden mevsim geçiş sıraları (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz,

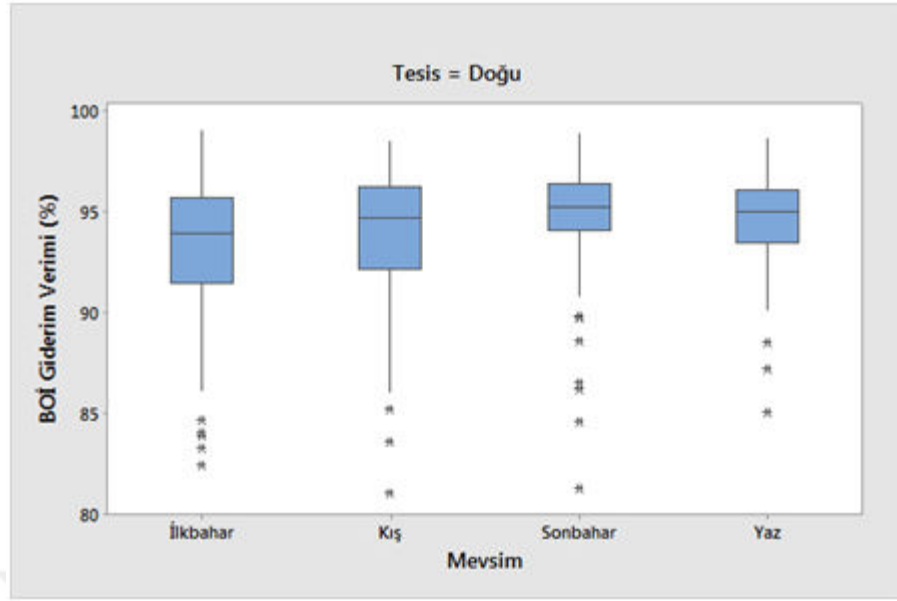
yaz-sonbahar, sonbahar-kış) göz önünde bulundurulmuştur. Çizelge 4.5 ve 4.6’da ayrıca medyan, minimum, maksimum değerleri de yer almaktadır.

4.2.1. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅)

Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, Doğu ve Batı AAT BOİ₅ giderim verimlerine ait “(K-W) P” satırındaki anlamlılık düzeyleri $\alpha=0,05$ ’ten küçük bulunduğundan mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabilmektedir (Çizelge 4.5 ve 4.6).

Doğu AAT’de BOİ₅ giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 94,78, % 93,97, % 95,03, % 95,30 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.5).

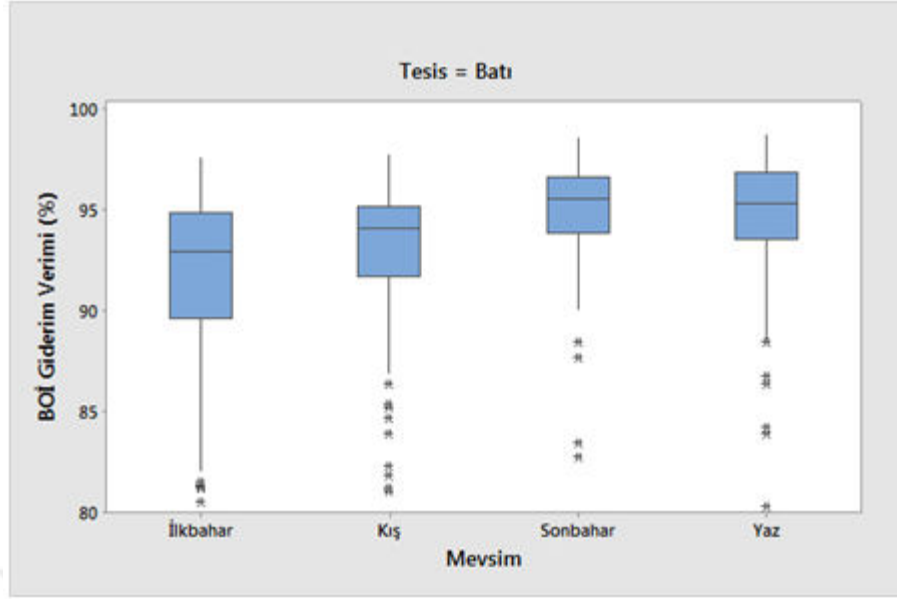
Doğu AAT BOİ₅ giderim verimleri; ilkbahar ve yaz mevsimleri arasında birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık göstermektedir ($P<0,001$). Kış-ilkbahar, yaz-sonbahar ve sonbahar-kış mevsimleri arasındaki giderim verimi oranları birbirlerine benzerdir ($P>0,008$). Doğu AAT’de BOİ₅ gideriminin en verimli olduğu mevsimler; yaz (medyan % 95,03) ve sonbahar (medyan % 95,30) mevsimleridir (Çizelge 4.5). Şekil 4.8’de Doğu AAT’deki BOİ₅ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimini gösteren kutu grafiği yer almaktadır. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Doğu AAT BOİ₅ giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbaharda % 93, kış aylarında % 94, sonbahar ve yaz aylarında % 95 civarında seyretmektedir.



Şekil 4.8. Doğu AAT’de BOİ₅ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Batı AAT’de BOİ₅ giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 94,12, % 92,96, % 95,33, % 95,56 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.6).

Batı AAT’de BOİ₅ giderim verimleri, yaz ve sonbahar mevsimleri arasında benzerlik göstermektedir ($P=0,825$). Ancak kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, sonbahar-kış mevsimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($P<0,008$). Batı AAT’nin BOİ₅ giderimi açısından en verimli olduğu mevsimler, Doğu AAT’de de olduğu gibi; yaz (medyan % 95,33) ve sonbahar (medyan % 95,56) mevsimleridir (Çizelge 4.6). Şekil 4.9’da Batı AAT’deki BOİ₅ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Batı AAT BOİ₅ giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilbaharda % 93, kış aylarında % 94, sonbahar ve yaz aylarında % 95 civarında seyretmektedir. Doğu ve Batı AAT’nin BOİ₅ giderim verimleri, mevsimlere göre birbirlerine yakın yüzde oranlarına sahip bulunmuştur.



Şekil 4.9. Batı AAT’de BOİ₅ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Atıksu arıtma tesisine eklenen anaerobik lagünlerin, kirletici parametre giderim verimlerine olan etkisinin incelendiği bir çalışmada; anaerobik lagünler eklenmeden önceki süreçte, mevsimler arasında istatistiksel olarak BOİ₅ giderim veriminin farklı olduğu ancak eklendikten sonra bu farkın görülmediği ve anaerobik havuzların BOİ₅ giderim verimini % 60 oranında arttırdığı tespit edilmiştir. Anaerobik havuzlar biyolojik arıtmayı daha stabil bir duruma getirerek giriş atıksuyundaki dalgalanmalardan kaynaklanabilecek BOİ₅ şoklarını absorbe etmede etkili olmuştur (Türker ve ark. 2009). Doğu ve Batı AAT’lerde 2009-2013 yılları arasında havuz vb. gibi prosesi önemli ölçüde etkileyecek eklemeler yapılmamıştır. Ayrıca Doğu ve Batı AAT’lerde anaerobik havuzlar olmasına rağmen, BOİ₅ arıtma veriminde mevsimler arasında farklılıklar tespit edilmiştir. Doğu AAT 240 000 m³/gün, Batı AAT 87 500 m³/gün arıtma kapasitesine sahiptir. Doğu ve Batı AAT’lerde atıksu debisinin fazla olması ve Bursa’daki ortalama hava sıcaklıklarının (yıllık ortalama hava sıcaklığı 14,5 °C, Meteoroloji Genel Müdürlüğü) yarı kurak iklim sıcaklıklarından (yıllık ortalama hava sıcaklığı 19 °C, Meteoroloji Dairesi Müdürlüğü) daha düşük olması gibi faktörlerin, BOİ₅ giderim verimlerinde mevsimsel farklılıklara neden olmuş olabileceği düşünülmektedir.

Mikroorganizmaların metabolizma ile ilgili faaliyetlerinin tümü kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Kimyasal tepkimeler gibi, mikroorganizmaların meydana getirdiği tepkimeler de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık yalnız metabolik aktiviteleri etkilemekle

kalmayıp biyolojik çamurun çökme özelliği, gaz transfer hızı gibi faktörleri de etkilemektedir (<http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum05.pdf>, 2005).

Biyolojik arıtma proseslerinde mikrobiyal büyüme, biyokimyasal reaksiyonlarla kontrol edilmektedir. Sıcaklık, bu reaksiyonları önemli oranda etkiler. Havalandırma havuzlarındaki bakteri büyümesi, sıcaklık toleransına göre üç farklı sınıfa ayrılmıştır: psikrofilik (- 10 °C - 30 °C), mezofilik (20 °C - 50 °C) ve termofilik (35 °C - 75 °C) (Metcalf & Eddy 1991). Dolayısıyla; havalandırma havuzlarında yazın mezofilik ve termofilik bakteri türleri daha baskınken kış, yaz ve sonbahardaki ortalama sıcaklıklar psikrofilik ve mezofilik bakteri büyümesine elverişli olabilir. Sıcaklıkla birlikte bakteri popülasyonu büyüme oranının değişmesi, bu iklimdeki arıtma tesislerinde görülen BOİ₅ giderim yüzdelerindeki mevsimsel farklılığı açıklayabilmektedir. Ancak Doğu ve Batı AAT'lerde bu yüzdelerdeki değişim çok azdır. Anaerobik proses, mezofilik ve termofilik sıcaklık aralıklarında optimal çalışır. İklim şartlarının; mezofilik aralıktaki biyolojik aktivite ve yazın oluşan termofilik büyüme için elverişli olduğundan anaerobik reaktörler, dinamik denge durumundaki metanojenik ve nonmetanojenik bakterilerle her zaman optimal biçimde çalışır. Bu nedenle dört mevsim boyunca anaerobik lagünlerdeki biyolojik ayrışmayı maksimize edecek uygun iklim şartları mevcuttur (Türker ve ark. 2009). Doğu ve Batı AAT'ler; aerobik, anaerobik ve anoksik bölgeleri içeren bardenpho prosesine göre çalışmaktadır. Doğu ve Batı AAT'lerine giren atıksu sıcaklıkları, mevsimlere göre 13 °C - 26 °C arasında değişmektedir. Biyolojik proseslerin reaksiyon hızı üzerindeki sıcaklık etkisi " $r_T = r_{20} * \theta^{(T-20)}$ " eşitliğiyle ifade edilebilir (<http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum05.pdf>, 2005). Burada;

r_T = T°C'deki reaksiyon hızı,

r_{20} = 20°C'deki reaksiyon hızı,

θ = sıcaklık aktivite katsayısı

T = sıcaklık, °C

Tesiste bulunan biyokütle, 20 °C altındaki tüm sıcaklıklarda büyüme katsayısı hesaplanırken kullanılan ve yukarıdaki denklemde de yer alan, $\Theta^{(T-20)}$ etkeninden dolayı düşmektedir. Ancak 20°C ve üzeri su sıcaklıklarında, biyokütlede artış meydana gelmektedir. Bu sebeple Doğu ve Batı AAT'lerde, biyolojik aktif çamur içindeki

mikroorganizma türleri mevsim sıcaklıklarına göre önemli ölçüde değişmese de; kış aylarında bakteri üreme katsayısı sıcaklığa bağlı etkenlerden dolayı bir miktar düşmekte ve yaz aylarında ise artmaktadır (Vardar 2016). Biyolojik aktivitede meydana gelen bu değişimlere bağlı olarak, BOİ giderimi mevsimlere göre küçük salınımlar göstermektedir.

Tanyol ve Uslu'nun (2013), Tunceli Eysel Atıksu Arıtma Tesisi'nde yaptıkları bir çalışmada; 2013 yılı ilkbahar ve yaz mevsiminde (nisan, mayıs ve haziran ayları) tesisin kirletici parametre giderim verimleri incelenmiştir. Tunceli Eysel Atıksu Arıtma Tesisi, uzun havalandırılmalı aktif çamur sistemine sahip olup biyolojik arıtma prensiplerine göre çalışmaktadır. Bu tesisteki BOİ₅ giderim verimleri; bahar mevsiminde % 88, yaz mevsiminde ise % 93 oranında gerçekleşmiştir. Doğu AAT'de BOİ₅ giderim verimi medyan değerleri ilkbahar mevsiminde % 93,97, yaz mevsiminde % 95,03'tür (Çizelge 4.5). Batı AAT'de BOİ₅ giderim verimi medyanları; ilkbahar mevsiminde % 92,96, yaz mevsiminde % 95,33'tür (Çizelge 4.6). Bu üç evsel atıksu arıtma tesisinde de; yaz aylarındaki ortalama BOİ₅ giderim verimlerinin, ilkbahardaki ortalama BOİ₅ giderim verimlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

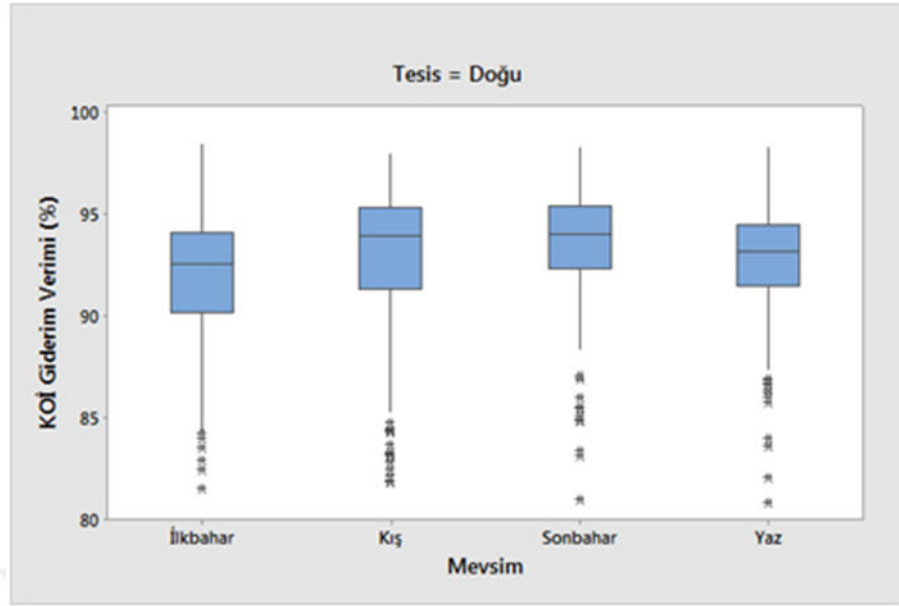
Emara ve ark. (2014) tarafından, Mısır'daki 20 000 m³/gün kapasiteli, oksidasyon hendeği prensibine göre çalışan, ayrıca 4 ve 5 aşamalı Bardenpho prosesini içeren küçük ölçekli iki ayrı pilot arıtma tesisi kurulmuş ve ocak-haziran ayları (kış, ilkbahar ve yaz mevsimini temsil eden aylar) arasında verimleri incelenmiştir. Doğu ve Batı AAT ile aynı çalışma prensibine sahip 5 aşamalı Bardenpho prosesli pilot tesiste ölçülen BOİ giderim verimleri mart-haziran ayları arasında (ilkbahar ve yaz mevsimi) % 98,2 - % 98,4 oranında gerçekleşmiştir. Ocak ve şubat aylarında ise BOİ giderim verimi oranı az miktarda düşerek % 97,9 olmuştur. Düşük sıcaklıklarda mikrobiyolojik faaliyetin azalmasının bu durumda etkili olduğu düşünülmüştür.

4.2.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda Doğu ve Batı AAT KOİ giderim verimlerine ait “(K-W) P” değerleri $\alpha=0,05$ 'ten küçük bulunduğundan mevsimlere göre karşılaştırma yapılabilmektedir (Çizelge 4.5 ve 4.6).

Doğu AAT'de KOİ giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 93,97, % 92,60, % 93,18, % 94,01 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.5).

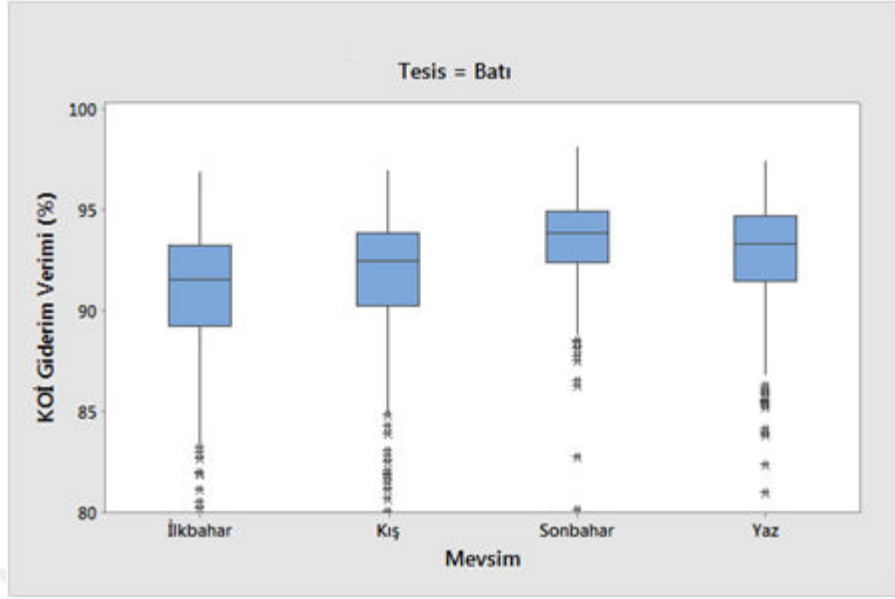
Doğu AAT'de KOİ giderim verimleri; sonbahar-kış mevsimleri arasında istatistiksel olarak benzerlik göstermektedir ($P=0,164$). Birbirini takip eden diğer mevsimler (kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ($P<0,008$). Doğu AAT'nin KOİ giderimi konusunda en verimli olduğu mevsimler, medyanları birbirine yakın ve her ikisi de yaklaşık % 94 olan kış ve sonbahar mevsimleridir (Çizelge 4.5). Şekil 4.10'da Doğu AAT'deki KOİ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Doğu AAT KOİ giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbaharda % 93, kış aylarında % 94, sonbaharda % 94 ve yaz aylarında % 93 civarında seyretmektedir.



Şekil 4.10. Doğu AAT'de KOİ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Batı AAT'de KOİ giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 92,47, % 91,49, % 93,32 ve % 93,85 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.6).

Batı AAT'de KOİ giderim verimleri, birbirini takip eden dört mevsim arasında istatistiksel olarak birbirlerinden anlamlı ölçüde farklılık göstermektedir ($P < 0,001$). KOİ giderimi açısından en verimli olan mevsim % 93,85 medyan değerine sahip sonbahardır (Çizelge 4.6). Şekil 4.11'de Batı AAT'deki KOİ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Batı AAT KOİ giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbaharda % 92, kış aylarında % 93, sonbaharda % 94 ve yaz aylarında % 93 civarında seyretmektedir.



Şekil 4.11. Batı AAT’de KOİ giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

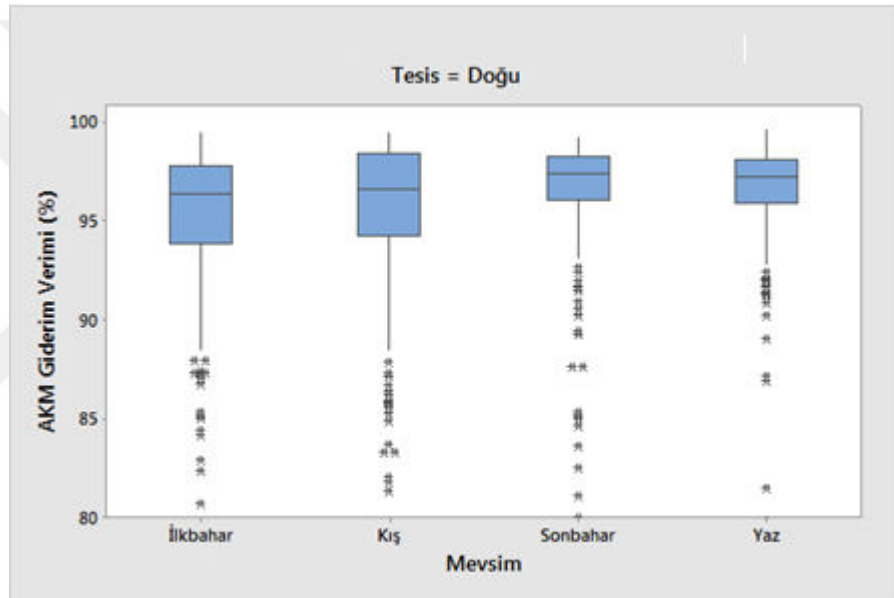
Tanyol ve Uslu’nun (2013), Tunceli Evsel Atıksu Arıtma Tesisi’nde yaptıkları çalışmaya göre; KOİ giderim verimleri; bahar mevsiminde % 88,5, yaz mevsiminde ise % 90 oranında bulunmuştur. Doğu AAT’de KOİ giderim verimi medyanları; ilkbahar mevsiminde % 92,60, yaz mevsiminde % 93,18’dir (Çizelge 4.5). Batı AAT’de KOİ giderim verimi medyanları; ilkbahar mevsiminde % 91,49, yaz mevsiminde % 93,32’dir (Çizelge 4.6). Bu üç evsel atıksu arıtma tesisinde de; yaz aylarındaki ortalama KOİ giderim verimlerinin, ilkbahardaki ortalama KOİ giderim verimlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

4.2.3. Askıda katı madde (AKM)

Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, Doğu ve Batı AAT AKM giderim verimlerine ait “(K-W) P” değerleri $\alpha=0,05$ ’ten küçük bulunmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6). Bu durum, mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT’deki AKM giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 96,67, % 96,36, % 97,28, % 97,41 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.5).

Doğu AAT'deki AKM giderim verimleri, ilkbahar ve yaz mevsimleri arasında birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık göstermektedir ($P < 0,001$). Diğer mevsimler (kış-ilkbahar, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) arasındaki giderim verimi oranları birbirlerine benzerdir ($P > 0,008$). Doğu AAT'nin AKM giderimi konusunda en verimli olduğu mevsimler, yaz (medyan % 97,28) ve sonbahar (medyan % 97,41) mevsimleridir (Çizelge 4.5). Şekil 4.12'de Doğu AAT'deki AKM giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Doğu AAT AKM giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbahar ve kış aylarında % 96, sonbahar ve yaz aylarında % 98 civarında seyretmektedir.

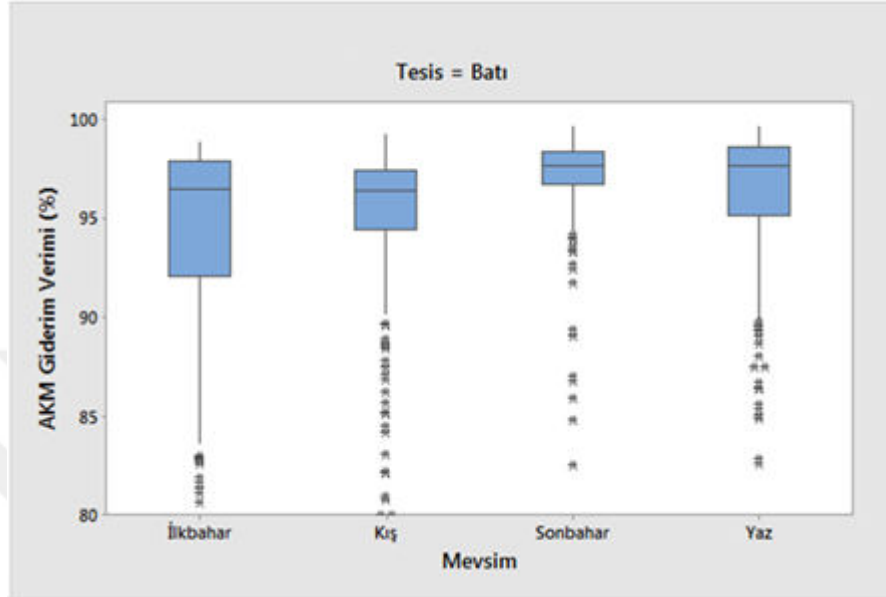


Şekil 4.12. Doğu AAT'de AKM giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Batı AAT'de AKM giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 96,39, % 96,48, % 97,69, % 97,66 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.6).

Batı AAT AKM giderim verimlerinde; ilkbahar-yaz mevsimleri ile sonbahar-kış mevsimleri arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır ($P < 0,001$). Diğer mevsimler (kış-ilkbahar, yaz-sonbahar) arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($P > 0,008$). Batı AAT'nin AKM giderimi açısından en verimli olduğu mevsimler yaklaşık olarak % 98 medyan değerine sahip yaz ve sonbahar mevsimleridir (Çizelge 4.6). Şekil 4.13'te Batı AAT'deki AKM giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi mevsimlere göre Batı AAT AKM giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbahar ve kış aylarında % 96, sonbahar ve yaz aylarında % 98 civarında seyretmektedir.



Şekil 4.13. Batı AAT’de AKM giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

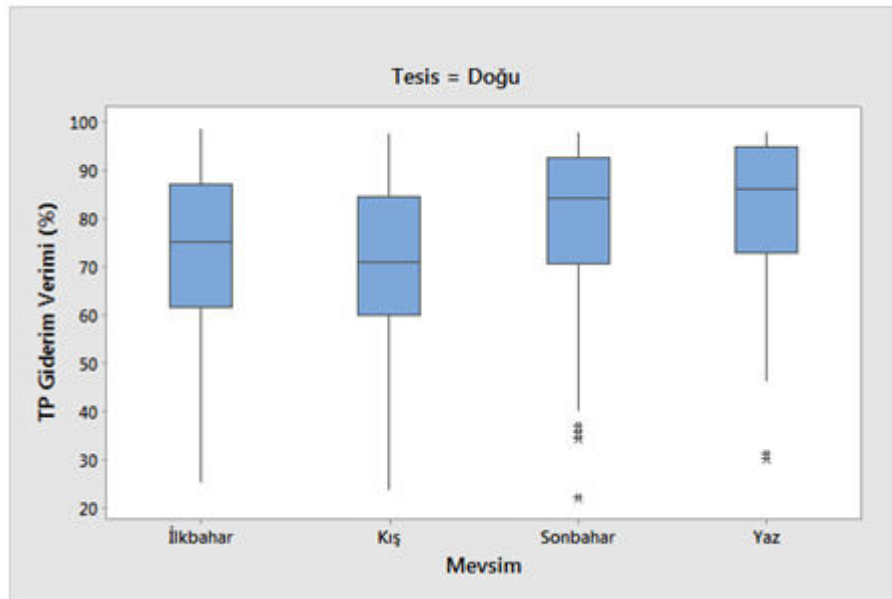
Emara ve arkadaşlarının (2014), Mısır’daki oksidasyon hendeği prensibine göre çalışan Mahala Marhoom kentsel atıksu arıtma tesisinde kurdukları Bardenpho prensipli pilot arıtma tesisinde, ocak-haziran aylarında % 98 oranında AKM giderim verimi tespit edilmiştir. Kış, ilkbahar ve yaz mevsimini temsil eden bu aylarda, BOİ’de olduğu gibi AKM’de de birbirlerine benzer oranda arıtma verimi elde edilmiştir. Mevsimlere göre benzer arıtma verimi elde edilmesinin sebebi olarak da, bardenpho prensipli pilot tesisin kapalı mekanda kurulmuş olması ve bu pilot tesiste mevsim etkisinin gözlenemeyeceği kadar az miktarda atıksuyun arıtılmış olması düşünülmektedir.

4.2.4. Toplam fosfor (TP)

Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda, Doğu ve Batı AAT toplam fosfor (TP) giderim verimlerine ait “(K-W) P” değerleri $\alpha=0,05$ ’ten küçük bulunmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6). Bu durum, mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabileceğini ifade etmektedir.

Doğu AAT’de mevsimlere göre TP giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 71,08, % 74,66, % 85,94, % 83,77 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.5).

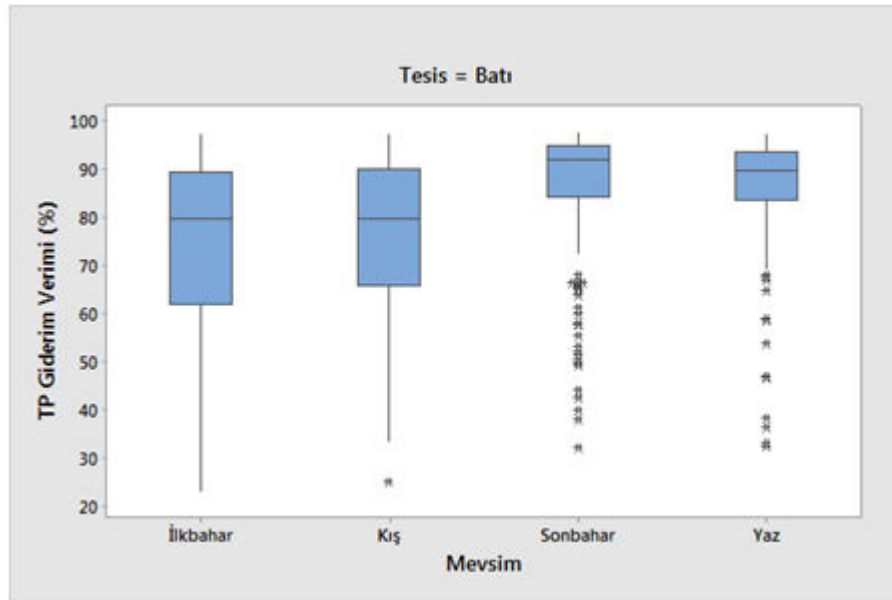
Doğu AAT’de TP giderim verimlerinde; ilkbahar-yaz ve sonbahar-kış arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır ($P < 0,001$). Birbirini takip eden diğer mevsimler (kış-ilkbahar ile yaz-sonbahar) arasında ise anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($P > 0,008$). Başka bir ifade ile; kıştan ilkbahara, yazdan sonbahara geçerken TP giderim verimleri önemli ölçüde değişmemiştir. Doğu AAT’nin TP giderimi konusunda en verimli olduğu mevsim % 85,94 medyan değerine sahip olan yaz mevsimidir (Çizelge 4.5). Şekil 4.14’de Doğu AAT’deki TP giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Doğu AAT TP giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbaharda % 75, kış aylarında % 71, sonbaharda % 84 ve yaz aylarında % 86 civarında seyretmektedir. Doğu AAT’de yaz aylarında yüksek TP gideriminin elde edilmesi, sıcaklık artışı ile birlikte fosfor giderimi yapan mikroorganizmaların daha etkili olduğunu işaret etmektedir. Kış aylarında sıcaklığın düşmesine bağlı olarak mikrobiyal aktivite bir miktar yavaşlamış ve giderim verimi biraz daha azalmıştır.



Şekil 4.14. Doğu AAT’de TP giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Batı AAT’de mevsimlere göre TP giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 79,60, % 79,70, % 90,00, % 91,77 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.6).

Batı AAT’de TP giderim verimleri, Doğu AAT’de olduğu gibi, ilkbahar-yaz ve sonbahar-kış mevsimleri arasında anlamlı farklılık göstermektedir ($P < 0,001$). İlkbaharda ortalama % 79,70 olan TP giderim verimi, yazla geçerken % 90,00’a ulaşmıştır. Bu verim artışının, yaz aylarındaki sıcaklık etkisiyle mikrobiyal aktivitenin hızlanmasıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Diğer mevsimler (kış-ilkbahar ile yaz-sonbahar) arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($P > 0,008$). Yani kıştan ilkbahara, yazdan sonbahara geçerken giderim verimleri önemli ölçüde değişmemiştir. Batı AAT’nin TP giderim verimi en yüksek olan mevsimi sonbahar (medyan % 91,77) mevsimidir (Çizelge 4.6). Şekil 4.15’de Batı AAT’deki TP giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Batı AAT TP giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbahar ve kış aylarında % 80, sonbaharda % 92, yaz aylarında % 90 civarında seyretmektedir.



Şekil 4.15. Batı AAT’de TP giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Doğu ve Batı AAT’ye benzer şekilde; İstanbul’da, 390 000 m³/gün arıtma kapasiteli ve bardenpho prensibindeki biyolojik arıtma ile, bazı konvansiyonel kirletici parametreler

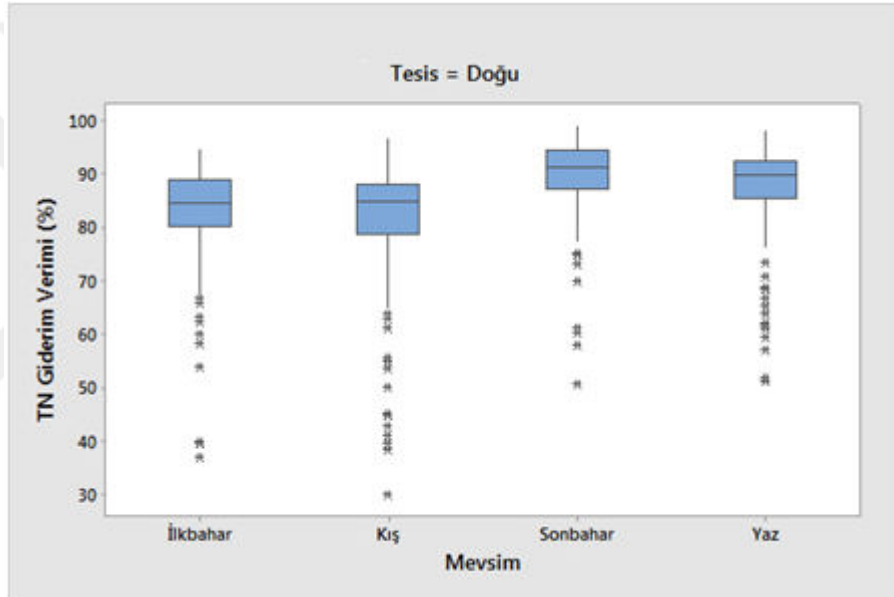
ve farmasötik maddeleri gideren iki kentsel atıksu arıtma tesisinde 2012 - 2013 Haziran ayları arasında mevsimlere göre TP giderimleri kışın % 54, ilkbaharda % 79, yazın % 70, sonbaharda ise % 74 olarak belirlenmiştir (Sarı ve ark. 2014). Bu tesiste, en düşük TP giderim verimi kış mevsiminde gerçekleşmiştir. En yüksek TP giderim verimi ise ilkbahar aylarında gerçekleşmiştir. Bu durum sıcaklıkta meydana gelen azalmanın biyolojik nutrient giderim sistemlerindeki olumsuz etkisine işaret etmektedir. Mevsimsel değişiminin özellikle tesis giriş atıksuyuna önemli etkisi olduğu ancak mevsimsel değişimin tesis verimini; çoğunlukla işletme şartları, arıtma tesisinin yapı ve performansına bağlı olarak etkileyeceği belirtilmektedir (Sarı ve ark. 2014). Doğu ve Batı AAT'lerdeki kış mevsiminde düşen arıtma verimlerinde, tesis işletimi sırasındaki enerji optimizasyonunun da etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Kış mevsimindeki yağışların tesise gelen atıksuyu seyreltmesi, atıksudaki kirletici parametre konsantrasyonlarını düşürmektedir. Bu durumda tesis için gerekli arıtma limitlerine daha kolay ulaşılmış olur. Ancak tesisin "yüksek hidrolik yük-düşük kirlilik" koşullarında çalışması birim enerji sarfiyatını arttırmakta, enerji tasarrufu yapılmasına imkan vermemektedir ve bu nedenle deşarj limitlerine ulaşıldığında enerji optimizasyonu için; eğer tesis işletimi açısından seçenek varsa, giderim verim yüzdeleri daha da arttırılmaya çalışılmaz (Vardar 2016). Atıksu arıtma tesislerine giriş yapan suyun özellikleri ve miktarı; bölge, iklim şartları ile bileşimindeki sanayi ve evsel atıksu oranlarına göre değişeceğinden bunlara müdahil olunması zordur ve tüm bu faktörler değişkenlik gösterebilir. Ancak arttırılmış atıksuda çıkış limit değerlerini sağlamak kaydı ile; enerji verimi sağlamak tesis işletme hedeflerinden bir tanesidir.

4.2.5. Toplam azot (TN)

Doğu ve Batı AAT toplam azot (TN) giderim verimlerine ait "(K-W) P" değerleri $\alpha=0,05$ 'ten küçük bulunduğu için mevsimlere göre bir karşılaştırma yapılabilmektedir (Çizelge 4.5 ve 4.6).

Doğu AAT'de mevsimlere göre TN giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 84,78, % 84,55, % 89,82, % 91,22 medyan değerlerinde bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Doğu AAT’de, TN giderim verimleri, kış ve ilkbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık göstermemektedir ($P=0,703$). Diğer mevsimler (ilkbahar-yaz, yaz-sonbahar, sonbahar-kış) arasında anlamlı ölçüde farklılık bulunmaktadır ($P<0,008$). Doğu AAT’nin TN giderimi açısından en verimli olduğu mevsim, medyan değeri % 91,22 olan sonbahar mevsimidir (Çizelge 4.5). Şekil 4.16’da Doğu AAT’deki TN giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Doğu AAT TN giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbahar ve kış aylarında % 84, sonbaharda % 91, yaz aylarında % 90 civarında seyretmektedir.

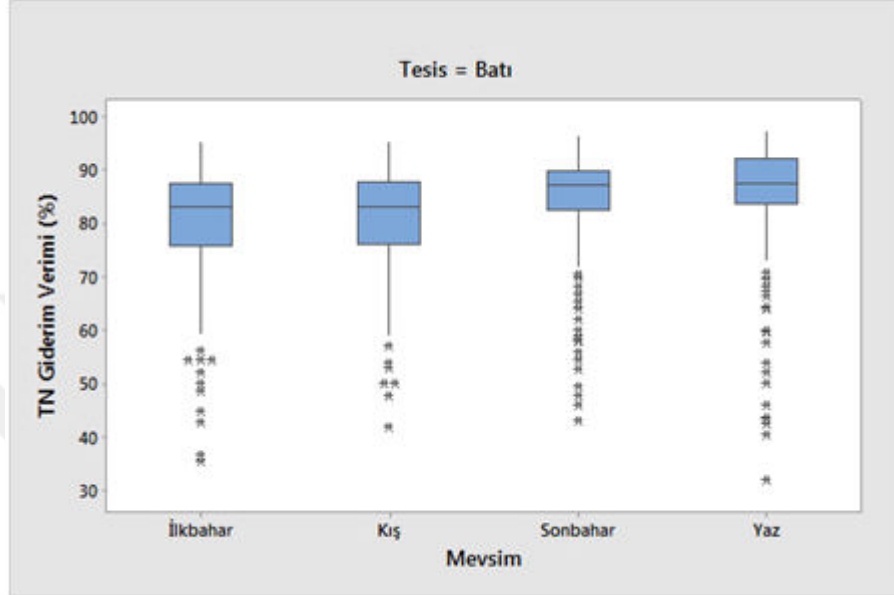


Şekil 4.16. Doğu AAT’de TN giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Batı AAT’de mevsimlere göre TN giderim verimleri; kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimleri için sırasıyla % 83,13, % 83,02, % 87,56, % 87,16 medyan değerlerine sahiptir (Çizelge 4.6).

Batı AAT’de, TN giderim verimlerinde, kış-ilkbahar ile yaz-sonbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($P>0,008$). Birbirini takip eden diğer mevsimler (ilkbahar-yaz, sonbahar-kış) arasında anlamlı farklılık bulunmaktadır ($P<0,001$). Kıştan ilkbahara, yazdan sonbahara geçerken giderim verimleri önemli ölçüde değişmemiştir. Batı AAT’nin TN giderimi açısından en verimli olduğu mevsimler, yaz (medyan % 87,56) ve sonbahar (medyan % % 87,16) mevsimleridir

(Çizelge 4.6). Şekil 4.17’de Batı AAT’deki TN giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, mevsimlere göre Batı AAT TN giderim verimine ait yaklaşık ortalama değerler; ilkbahar ve kış aylarında % 83, sonbahar ve yaz aylarında % 87 civarında seyretmektedir.



Şekil 4.17. Batı AAT’de TN giderim verimlerinin mevsimlere göre değişimi

Benzer şekilde Sarı ve ark. (2014) yapmış oldukları çalışmada, Bardenpho prosesi ile TKN ve NH₃-N parametrelerinin daha iyi giderildiğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar TKN giderim veriminin kışın % 22, ilkbaharda % 51, yazın % 92 ve sonbaharda % 45 oranında; NH₃-N giderim veriminin ise ilkbaharda % 35, yazın en az % 86 ve sonbaharda % 24 olduğunu, kış mevsiminde ise neredeyse hiç NH₃-N giderimi olmadığını belirtmiştir. Kış mevsiminde NH₃-N ve TKN giderim verimlerinin azalmasında, bu mevsimdeki düşük sıcaklığın (< 5⁰C) etkisi olabilir (Sarı ve ark. 2014). Doğu ve Batı AAT’lerde ise, azot giderim verimini hesaplamak için TN (toplam azot) parametresi kullanılmaktadır. TN parametresi, TKN ve NH₃-N miktarlarını da içermektedir. Sarı ve ark. (2014) elde ettiği sonuçlarla benzer şekilde, Batı AAT’de azot parametresine ait giderim verimi oranları yaz mevsiminde daha yüksektir. Doğu AAT’de de yaz ve sonbahar mevsimlerinde, kış ve ilbahardakinden daha yüksek TN giderimi gerçekleşmiştir. Sayısal olarak çok büyük farklılıklar olmasa da giderim verimlerinde meydana gelen farklılıkların kış aylarında nitrifikasyon bakterilerinin sıcaklığa olan hassasiyetinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Nitrifikasyon, atıksudan nitrojen gideriminin başlıca prosesidir ve atıksu arıtma tesislerindeki hassas karakterli ve yavaş gelişen nitrifikasyon bakterilerinden dolayı kolayca başarısızlığa uğrayabilir. Sıcaklıktaki azalmanın biyolojik nutrient giderim sistemlerinde önemli etkisi olabilir (Sarı ve ark. 2014). Bakterinin büyüme hızında; sıcaklık faktörü de etken olduğu için amonyağın nitrata dönüşümünü sağlayan bakteriler, sıcaklık ile alakalı olarak artış ve azalma gösterirler. Bazı çevresel ve işletme faktörleri nitrifikasyonu olumsuz etkileyebilir (Kraigher ve ark. 2011).

Wittgren ve Maehlum (1997), kış aylarında oksijen miktarının fazla oluşunun azot döngüsünü inhibe ettiğini vurgulamıştır. Spieles ve Mitsch (2000) ise ekstrem sıcaklıkların azot üreten bakterilerin büyüme oranını yavaşlattığını belirtmişlerdir. Bu durum, kış aylarında Doğu ve Batı AAT'lerde TN giderim verimlerinde görülen azalmanın nedenlerinden biri olabilir.

4.3. Arıtma Tesisi Verimlerinin Yıllara Göre Değişimi

2009-2013 yılları arasında, Doğu ve Batı AAT'lerin kompozit atıksu numunelerinden ölçülen BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerlerinden elde edilen giderim verimleri yıllara göre değerlendirilmiştir.

Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro-Wilk testiyle incelenmiştir. Verilerin normal dağılım göstermemesi ve varyansların heterojenliğinden dolayı parametrik olmayan istatistiksel testler kullanılmıştır. Gruplar arası karşılaştırmalarda Kruskal-Wallis H testi ile Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Çoklu (post-hoc) karşılaştırmalarda Bonferroni düzeltmesi yapılmıştır. Anlamlılık düzeyi olarak $\alpha=0,05$ alınmıştır.

Bonferroni düzeltmesi için bu başlık altında incelediğimiz grup sayısı 10'dur (bkz. Çizelge 4.9 ve 4.10'un en alt satırındaki, yıllardan oluşan karşılaştırma grupları). Öncelikle beş yıllık kirletici parametrelerin giderim verimlerinden yola çıkılarak genel anlamda iki tesis arasında arıtma verimi açısından farklılıkların olup olmadığı araştırılmıştır (Çizelge 4.7). Son olarak yıl bazında her bir parametre giderim veriminin

tesislere göre değişiklik gösterip göstermediği istatistiksel olarak test edilerek arıtma tesislerinin performansı değerlendirilmiştir (Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10).

Çizelge 4.7. Doğu ve Batı AAT verimlerinin karşılaştırılması

GENEL KARŞILAŞTIRMA		BOİ GİDERİM VERİMİ (%)	KOİ GİDERİM VERİMİ (%)	AKM GİDERİM VERİMİ (%)	TP GİDERİM VERİMİ (%)	TN GİDERİM VERİMİ (%)
DOğU	N	611	1189	1190	748	755
	Median	94,81	93,33	97,00	78,59	87,01
	Minimum	76,59	73,08	46,51	22,20	30,00
	Maximum	99,15	98,48	99,70	98,90	99,18
BATI	N	595	1187	1186	750	750
	Median	94,44	92,84	97,14	86,96	85,37
	Minimum	39,24	47,78	42,20	22,73	6,31
	Maximum	98,79	98,19	99,74	98,00	96,75
(K-W) P		0,015	<0,001	0,944	<0,001	<0,001

SPSS yardımıyla yapılan Kruskal Wallis testi ile Çizelge 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'un “(K-W) P” satırlarında görölen anlamlılık düzeyleri elde edilmiştir. Kirletici parametrelerin giderim verimleri arasında anlamlı fark olup olmadığını belirlemek üzere aşağıdaki hipotezler kurulmuştur:

H₀: Grupların ortalamaları arasındaki fark anlamlı değildir.

H₁: En az iki grup ortalaması arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'daki “(K-W) P” satırlarında yer alan P anlamlılık düzeylerine göre şöyle bir değerlendirme yapılır. $P > \alpha$ ise H₀ reddedilemez ($\alpha=0,05$). Bu durumda parametre veriminin hangi yıllara göre değişimi inceleniyorsa, o verim medyanlarının birbirine benzer olduğu sonucuna ulaşılır. Yani verimin, yıllara göre anlamlı bir değişim göstermediği istatistiksel olarak ortaya konmuş olur. Bu durumda giderim verimlerinin önemli ölçüde değişmediği söylenebilir. $P < \alpha$ ise H₀ reddedilir ($\alpha=0,05$). Bu durumda kabul edilen hipotez H₁ olur. En az bir grubun medyanı farklıdır ve hangisinin farklı olduğunu bulmak için o grubun yıllara göre ikili karşılaştırmasını yapmak gerekir.

Çizelge 4.8. Doğu ve Batı AAT verimlerinin yıllık düzeyde karşılaştırılması

YIL		BOİ GİDERİM VERİMİ (%)	KOİ GİDERİM VERİMİ (%)	AKM GİDERİM VERİMİ (%)	TP GİDERİM VERİMİ (%)	TN GİDERİM VERİMİ (%)	
2009	DOĞU	N	184	277	277	146	152
		Median	93,74	92,03	95,78	72,89	87,01
		Minimum	78,30	76,14	50,94	23,40	30,00
		Maximum	97,95	96,46	99,12	95,18	96,25
BATI	BATI	N	181	280	280	150	152
		Median	91,93	90,99	93,12	70,24	86,36
		Minimum	39,24	27,36	42,22	22,73	31,91
		Maximum	97,26	96,63	99,34	96,43	96,15
(K-W) P	<0,001	<0,001	<0,001	0,456	0,819		
2010	DOĞU	N	131	251	251	150	150
		Median	93,00	91,67	94,39	75,78	90,00
		Minimum	76,59	73,08	46,51	31,25	51,35
		Maximum	98,42	98,04	99,43	97,17	97,00
BATI	BATI	N	123	245	243	145	144
		Median	95,53	92,67	97,22	83,33	84,68
		Minimum	78,12	63,81	73,83	32,91	47,78
		Maximum	98,46	98,19	99,74	96,25	97,50
(K-W) P	<0,001	0,001	<0,001	0,013	<0,001		
2011	DOĞU	N	147	258	259	154	153
		Median	95,45	93,91	97,71	87,40	85,94
		Minimum	88,64	73,91	50,00	22,22	58,00
		Maximum	97,91	97,56	99,52	98,41	95,78
BATI	BATI	N	147	258	258	153	153
		Median	94,76	92,94	97,40	88,61	85,06
		Minimum	87,69	71,62	87,36	32,26	40,38
		Maximum	98,18	96,89	99,35	97,52	96,54
(K-W) P	<0,001	<0,001	0,082	0,882	0,022		
2012	DOĞU	N	99	248	248	147	149
		Median	95,65	93,64	97,21	80,64	87,67
		Minimum	81,31	80,98	81,07	8,45	50,80
		Maximum	99,01	98,37	99,70	98,89	99,18
BATI	BATI	N	95	247	248	148	148
		Median	96,23	93,26	98,05	88,99	85,15
		Minimum	87,14	77,32	58,33	26,67	35,60
		Maximum	98,79	97,00	99,71	98,00	96,81
(K-W) P	0,762	0,005	<0,001	0,003	<0,001		
2013	DOĞU	N	50	155	155	151	151
		Median	97,60	96,46	98,52	81,05	87,73
		Minimum	93,66	88,29	76,06	25,81	45,22
		Maximum	99,15	98,48	99,55	98,36	97,69
BATI	BATI	N	49	157	157	154	153
		Median	96,24	95,01	97,67	93,63	85,85
		Minimum	90,24	88,80	82,56	43,24	42,86
		Maximum	98,05	97,04	99,32	97,79	96,89
(K-W) P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		

Çizelge 4.9. Doğu AAT verimlerinin tesis içerisinde yıllara göre karşılaştırılması

YIL		BOİ GİDERİM VERİMİ (%)	KOİ GİDERİM VERİMİ (%)	AKM GİDERİM VERİMİ (%)	TP GİDERİM VERİMİ (%)	TN GİDERİM VERİMİ (%)
2009	N	184	277	277	146	152
	Median	93,74	92,03	95,78	72,90	87,01
	Minimum	78,30	76,14	50,94	23,40	30,00
	Maximum	97,95	96,46	99,13	95,18	96,25
2010	N	131	251	251	150	150
	Median	93,00	91,67	94,39	75,78	90,00
	Minimum	76,60	73,08	46,51	31,25	51,35
	Maximum	98,42	98,04	99,43	97,18	97,00
2011	N	147	258	259	154	153
	Median	95,45	93,91	97,71	87,40	85,94
	Minimum	88,64	73,91	50,00	22,22	58,00
	Maximum	97,91	97,57	99,52	98,41	95,78
2012	N	99	248	248	147	149
	Median	95,65	93,64	97,22	80,65	87,67
	Minimum	81,31	80,98	81,07	8,45	50,80
	Maximum	99,01	98,37	99,70	98,90	99,18
2013	N	50	155	155	151	151
	Median	97,60	96,47	98,52	81,05	87,73
	Minimum	93,66	88,30	76,06	29,05	45,22
	Maximum	99,15	98,48	99,55	98,36	97,69
(K-W) P		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Gruplar (P)	2009-2010	0,29	0,122	0,012	0,028	<0,001
	2009-2011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,866
	2009-2012	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002
	2009-2013	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	0,001
	2010-2011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
	2010-2012	<0,001	<0,001	<0,001	0,036	0,476
	2010-2013	<0,001	<0,001	<0,001	0,06	0,688
	2011-2012	0,323	0,368	0,007	0,025	0,001
	2011-2013	<0,001	<0,001	<0,001	0,114	0,007
	2012-2013	<0,001	<0,001	<0,001	0,952	0,615

Yapılan istatistiksel değerlendirmede Doğu ve Batı AAT için Çizelge 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'daki "(K-W) P" satırlarında yer alan P anlamlılık düzeyleri, çoğunlukla her bir parametre için $P < 0,05$ bulunmuştur. Bu aşamadan sonra; yıllara göre giderim verimleri arasında çoklu karşılaştırma yapılacağı $p < 0,05$ durumları için Bonferroni düzeltmeli Mann-Whitney U testi uygulanmıştır (Çizelge 4.9 ve 4.10).

Çizelge 4.10. Batı AAT verimlerinin tesis içerisinde yıllara göre karşılaştırılması

YIL		BOİ GİDERİM VERİMİ (%)	KOİ GİDERİM VERİMİ (%)	AKM GİDERİM VERİMİ (%)	TP GİDERİM VERİMİ (%)	TN GİDERİM VERİMİ (%)
2009	N	181	280	280	150	152
	Median	91,93	90,99	93,12	70,24	86,36
	Minimum	39,24	27,36	42,22	22,73	31,91
	Maximum	97,27	96,63	99,34	96,43	96,15
2010	N	123	245	243	145	144
	Median	95,54	92,67	97,22	83,33	84,68
	Minimum	78,13	63,81	73,83	32,91	47,78
	Maximum	98,46	98,19	99,74	96,25	97,50
2011	N	147	258	258	153	153
	Median	94,76	92,94	97,40	88,61	85,06
	Minimum	87,69	71,62	87,36	32,26	40,38
	Maximum	98,18	96,90	99,35	97,52	96,54
2012	N	95	247	248	148	148
	Median	96,23	93,26	98,06	89,00	85,15
	Minimum	87,14	77,33	58,33	26,67	35,60
	Maximum	98,80	97,00	99,71	98,00	96,81
2013	N	49	157	157	154	153
	Median	96,24	95,01	97,67	93,63	85,85
	Minimum	90,24	88,81	82,56	43,24	42,86
	Maximum	98,05	97,04	99,32	97,79	96,89
(K-W) P		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,715
Gruplar (P)	2009-2010	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	P>0,05 olduğundan azot giderim verimi yıllara göre değişiklik göstermemiş- tir.
	2009-2011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
	2009-2012	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
	2009-2013	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
	2010-2011	0,04	0,254	0,016	<0,001	
	2010-2012	0,044	0,018	<0,001	<0,001	
	2010-2013	0,001	<0,001	0,002	<0,001	
	2011-2012	<0,001	0,065	<0,001	0,394	
	2011-2013	<0,001	<0,001	0,113	<0,001	
2012-2013	0,229	<0,001	0,001	<0,001		

Yılları kendi arasında ikişerli gruplar halinde karşılaştırmak için, yeniden hipotez kurulması gerekir. İkili karşılaştırmalar için, Bonferroni düzeltmeli Mann-Whitney U testinde kurulan hipotezler aşağıdaki şekildedir.

H_0 = Değişkenlerin dağılımları A ve B yıllarında aynıdır.

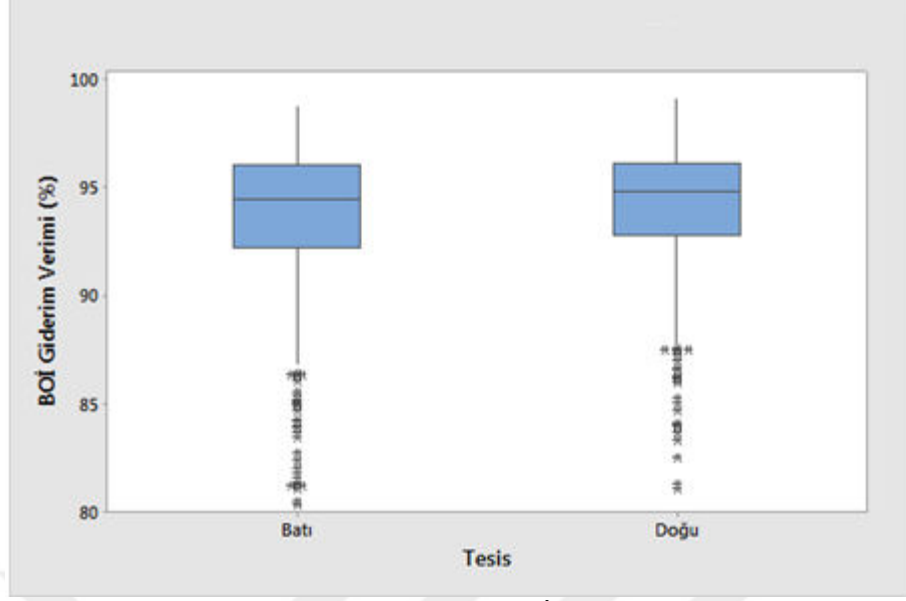
H_1 = Değişkenlerin dağılımları A ve B yıllarında farklıdır.

Burada 2009-2013 yıllarını birbirleriyle karşılaştırdığımız için elde edilen grup sayısı 10'dur. Bonferroni düzeltmeli anlamlılık düzeyi ise, anlamlılık düzeyi / grup sayısı formülüne göre $0,05/10 = 0,005$ olmaktadır. Dolayısıyla gruplar arasındaki farkın test edilmesi için kullanılan Kruskal Wallis analizinde anlamlılık düzeyi 0,005 olarak alınmıştır.

Çizelge 4.9 ve 4.10 "Gruplar (P)" satırında Bonferroni düzeltmeli α değerine göre önem seviyeleri (P değerleri) yer almaktadır. Buna göre istatistiksel açıdan karşılaştırılan gruplar arasında önemli farklılık olup olmadığı bilgisine ulaşılarak sonuçlar ortaya konulmaktadır. $P > \alpha$ ise H_0 reddedilemez ($\alpha=0,008$). Bu durumda değişkenlerin (verim değerlerinin), A ve B yıllarındaki dağılımlarının aynı olduğu sonucuna ulaşılır. Yani değişken dağılımının, (hangi iki yıl için karşılaştırılıyorsa) farklılık göstermediği istatistiksel olarak ortaya konmuş olur. $P < \alpha$ ise H_0 reddedilir ($\alpha=0,008$). Bu durumda değişkenlerin dağılımları A ve B yıllarında farklıdır. $P < \alpha$ olduğundaki önem seviyeleri, bir başka deyişle istatistiksel açıdan anlamlı farklılık olduğu durumlar; Çizelge 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'daki "(K-W) P" satırları ve "Gruplar (P)" satırlarındaki diğer P değerlerinden ($P > \alpha$ durumundaki önem seviyelerinden) ayırt edilebilmesi için koyu renkli gösterilmiştir.

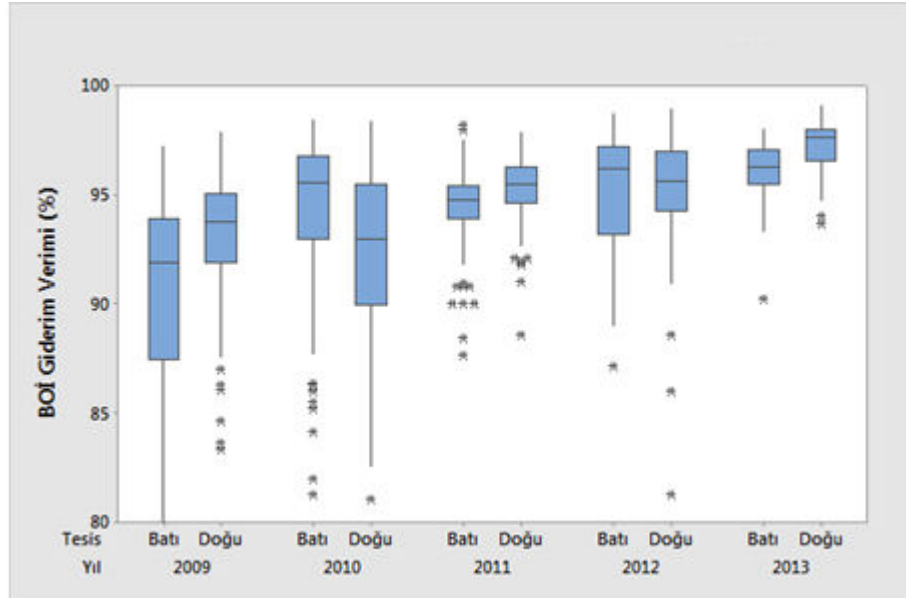
4.3.1. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ₅)

2009-2013 yılları arasında tesis giriş ve çıkışlarında, her iki tesiste beş yıl boyunca ölçülen BOİ₅ değerlerine göre elde edilen giderim verimleri kıyaslanmıştır. Bu sonuçlara göre Doğu AAT'nin BOİ₅ giderim verimi medyanı % 94,81, Batı AAT'nin BOİ₅ giderim verimi medyanının % 94,44 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7). BOİ₅ giderim verimi medyan değerleri her iki tesiste birbirlerine çok yakın olmakla birlikte istatistiksel olarak birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı bulunmuştur ($P=0,015$). (Ancak % 99 güven aralığını ifade eden $\alpha=0,01$ 'e göre değerlendirildiğinde $P=0,015$ değeri, anlamlı farklılık oluşturmamaktadır.) Doğu AAT'nin BOİ₅ giderim veriminin biraz daha fazla olduğu söylenebilir (Çizelge 4.7, Şekil 4.18).



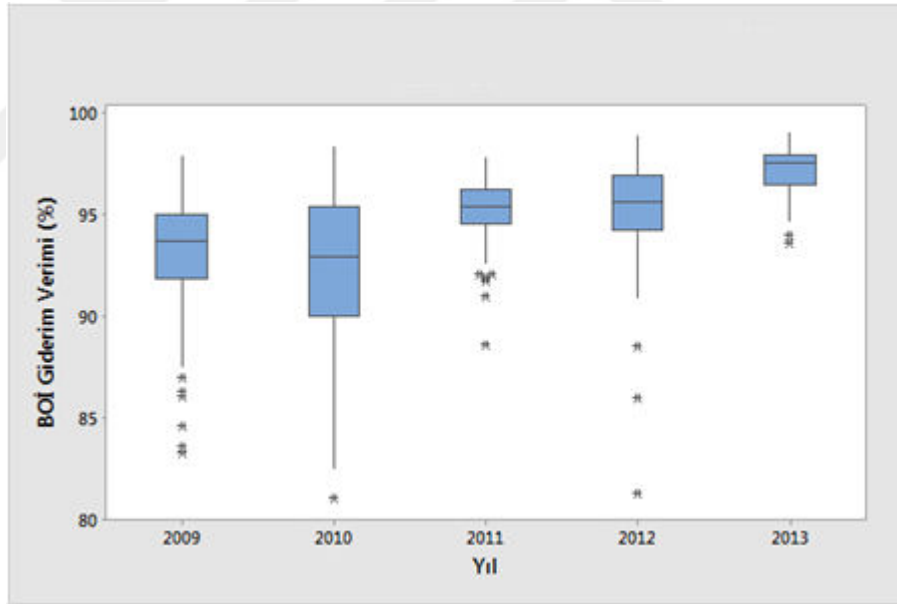
Şekil 4.18. Doğu ve Batı AAT’de BOİ₅ giderim verim oranları

Doğu ve Batı AAT verimliliğinin yıllara göre değişimini belirlemek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirme, Çizelge 4.8’de verilmektedir. Buna göre Doğu ve Batı AAT’nin BOİ₅ verim düzeyleri karşılaştırıldığında, 2012 yılı hariç diğer yıllarda, her iki tesisin BOİ₅ giderim verimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu ($P < 0,001$) belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Doğu ve Batı AAT’de BOİ₅ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

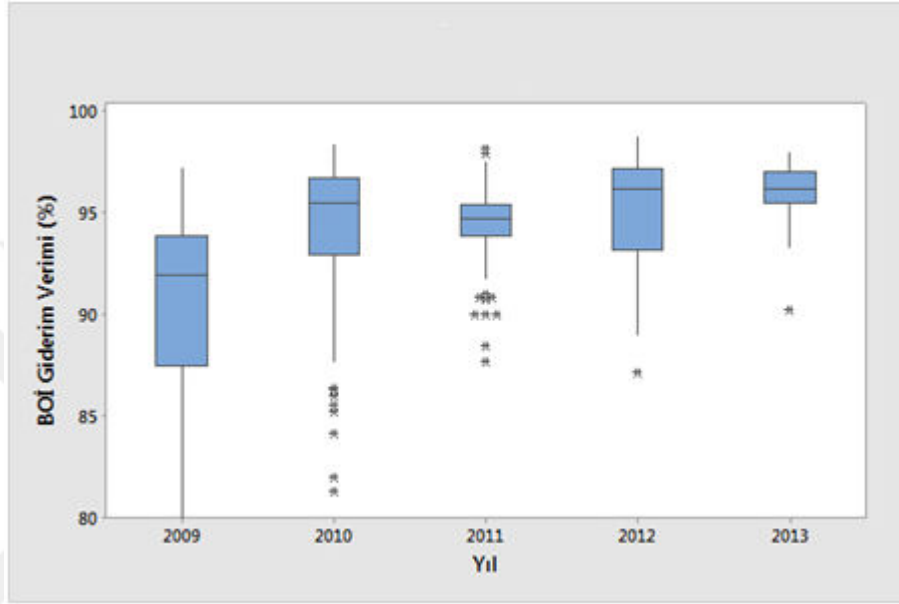
Doğu AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında BOİ₅ giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2010-2011, 2012-2013 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık olup ($P<0,001$), 2009-2010 ($P=0,29$) ve 2011-2012 ($P=0,323$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.9). Doğu AAT’nin BOİ₅ giderimi konusunda en verimli olduğu yıl ise % 97,60 medyan değerine sahip 2013 yılıdır (Çizelge 4.9, Şekil 4.20). Şekil 4.20’de Doğu AAT’de yıllara göre BOİ₅ giderim verimleri kutu grafiği yer almaktadır. Şekilde görülen merkez dikdörtgen kutular, ‘*interquartile range-IQR*’ olarak tabir edilen; kartiller veya çeyrekler arası bölgeyi yani medyan değerlerinin yoğunlaştığı yüzde aralıklarını ifade etmektedir. Bu şekile göre; Doğu AAT BOİ₅ giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 92 ve % 95, 2010 yılında % 90 ve % 95, 2011 yılında % 94 ve % 96, 2012 yılında % 94 ve % 97, 2013 yılında % 96 ve % 98 arasında salınım göstermiştir.



Şekil 4.20. Doğu AAT’de BOİ₅ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

Batı AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında BOİ₅ giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2009-2010, 2011-2012 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık olup ($P<0,001$), 2010-2011 ($P=0,04$) ve 2012-2013 ($P=0,229$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.10). Batı AAT’nin BOİ₅ giderimi açısından en verimli olduğu yıllar, % 96,23 medyan değerine sahip 2012 ve % 96,24 medyan değerine sahip 2013 yıllarıdır (Çizelge 4.10).

Bu durum Şekil 4.21'deki Batı AAT'de BOİ₅ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi kutu grafiğinde de görülmektedir. Batı AAT BOİ₅ giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 87 ve % 94, 2010 yılında % 93 ve % 97, 2011 yılında % 94 ve % 95, 2012 yılında % 93 ve % 97, 2013 yılında % 95 ve % 97 arasında salınım göstermiştir.



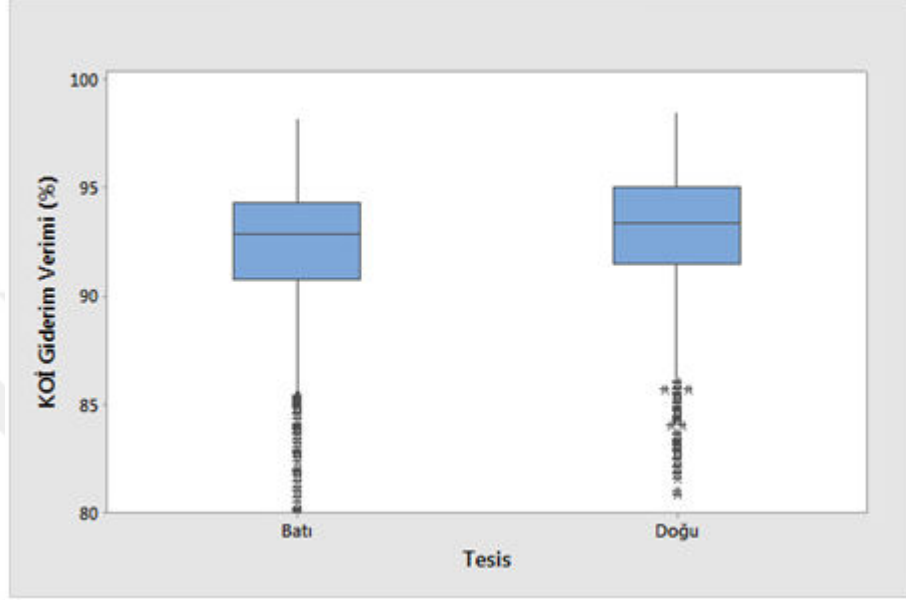
Şekil 4.21. Batı AAT'de BOİ₅ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

Arıtma tesislerinin işletiminde, tesise eklenen yeni üniteler arıtma veriminin olumlu yönde değişimine neden olmaktadır. Dolayısıyla uzun süreli incelemelerde, tesis verimliliğinde anlamlı farklılıklar gözlenebilmektedir (Türker ve ark. 2009). Doğu ve Batı AAT'lerde beş yıl boyunca BOİ₅ giderim verimleri açısından az miktarda da olsa birbirlerinden anlamlı kabul edilebilecek fark bulunmuştur. Ancak bu beş yıllık süre boyunca, her iki tesiste de söz konusu farklılığa temel oluşturabilecek bir ünite/havuz vb eklenmesi yapılmamıştır. Bu farklılığın nedeni olarak tesislere birbirinden farklı karakterde atıksuyunun gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

4.3.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

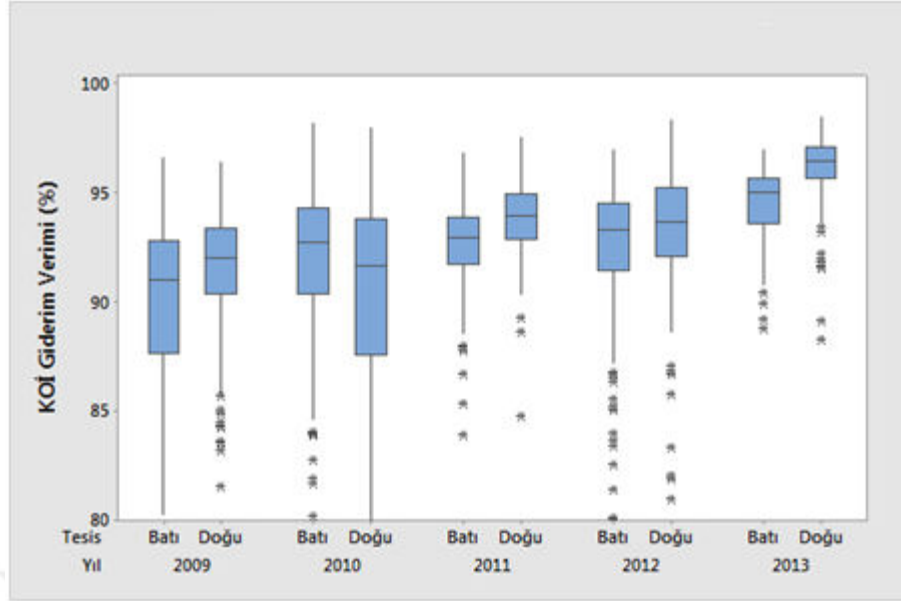
Doğu ve Batı AAT'de 2009-2013 yılları arasındaki beş yıllık süreçte belirlenen KOİ giderim verimleri Çizelge 4.7'de kıyaslanmıştır. Çizelgede görüldüğü gibi, Doğu AAT'nin KOİ giderim verimi medyanı % 93,33, Batı AAT'nin KOİ giderim verimi

medyanı % 92,84'tür. İki tesis için yapılan istatistiksel değerlendirmede $P < 0,001$ olması KOİ giderim verimlerinin anlamlı ölçüde farklı olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla Doğu AAT'nin KOİ giderimi konusunda Batı AAT'den daha verimli olduğu söylenebilir (Çizelge 4.7, Şekil 4.22).



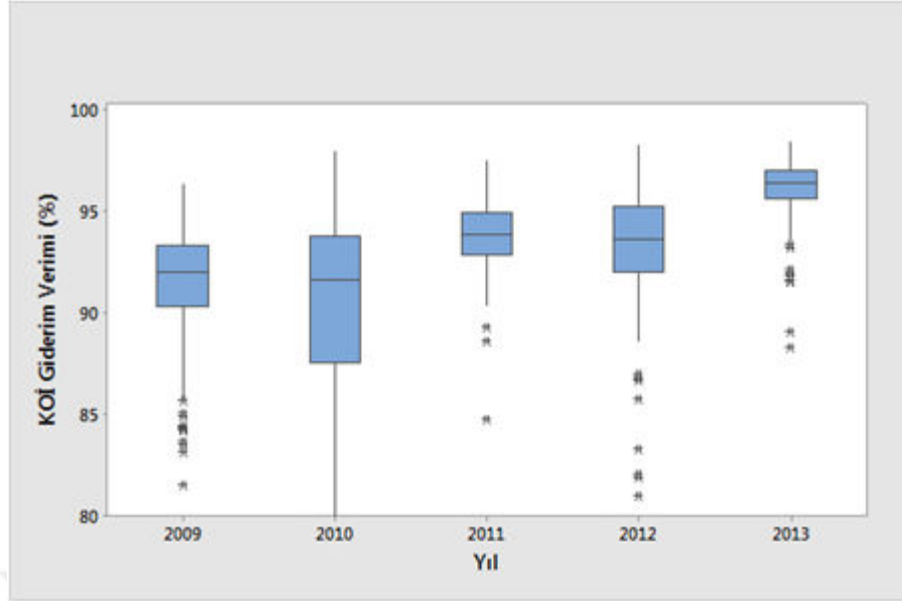
Şekil 4.22. Doğu ve Batı AAT'de KOİ giderim verim oranları

Doğu ve Batı AAT verimliliğinin yıllara göre farklılığını belirlemek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirme Çizelge 4.8'de verilmektedir. Buna göre Doğu ve Batı AAT'nin KOİ giderim verimlerinin beş yıl boyunca birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı farklılık ($P < 0,05$) gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.23).



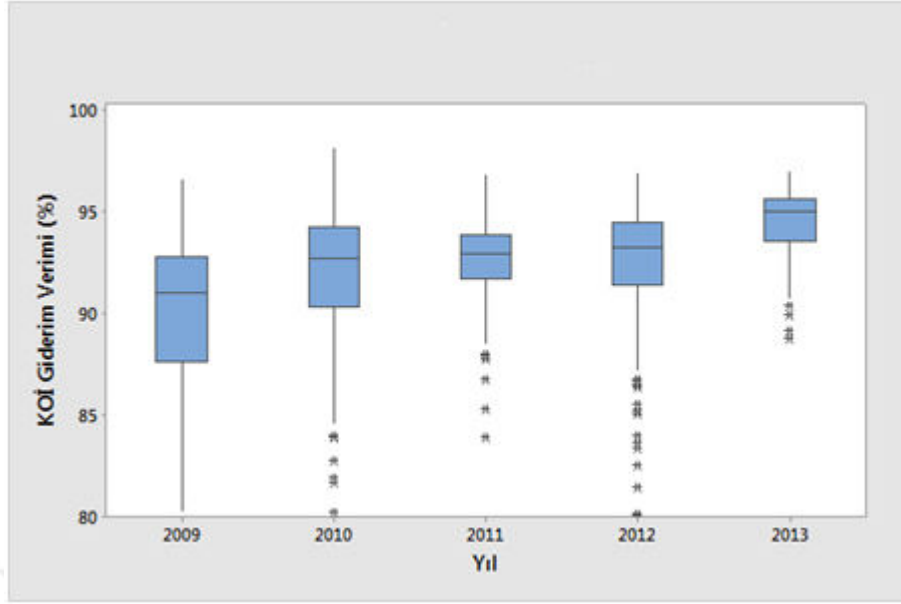
Şekil 4.23. Doğu ve Batı AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

Doğu AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında KOİ giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2010-2011, 2012-2013 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık olup ($P < 0,001$), 2009-2010 ($P = 0,122$) ve 2011-2012 ($P = 0,368$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.9). Doğu AAT’nin KOİ gideriminde en verimli olduğu yıl ise % 96,47 medyan değerine sahip 2013 yılıdır (Çizelge 4.9, Şekil 4.24). Bu durum Şekil 4.24’deki, Doğu AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi kutu grafiğinde de görülmektedir. Doğu AAT KOİ giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 90 ve % 93, 2010 yılında % 87 ve % 93, 2011 yılında % 93 ve % 95, 2012 yılında % 92 ve % 95, 2013 yılında % 96 ve % 97 arasında salınım göstermektedir.



Şekil 4.24. Doğu AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

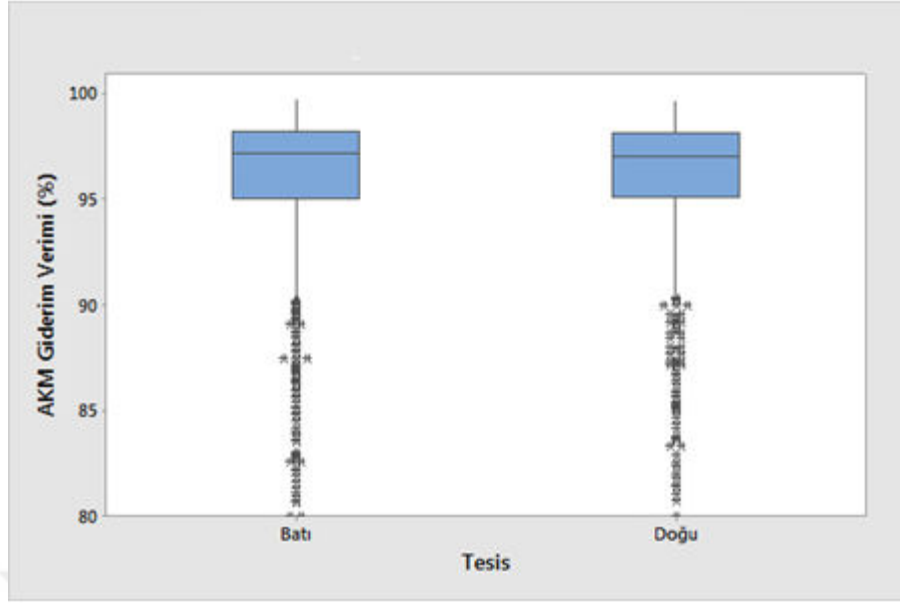
Batı AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında KOİ giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2009-2010, 2012-2013 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık olup ($P < 0,001$), 2010-2011 ($P = 0,254$) ve 2011-2012 ($P = 0,065$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.10). Batı AAT’nin KOİ giderimi açısından en verimli olduğu yıl % 95,01 medyan değeriyle 2013 yılıdır (Çizelge 4.10, Şekil 4.25). Bu durum Şekil 4.25’deki, Batı AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi kutu grafiğinde de görülmektedir. Batı AAT KOİ giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 87 ve % 93, 2010 yılında % 90 ve % 94, 2011 yılında % 92 ve % 94, 2012 yılında % 92 ve % 95, 2013 yılında % 94 ve % 96 arasında değişmektedir.



Şekil 4.25. Batı AAT’de KOİ giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

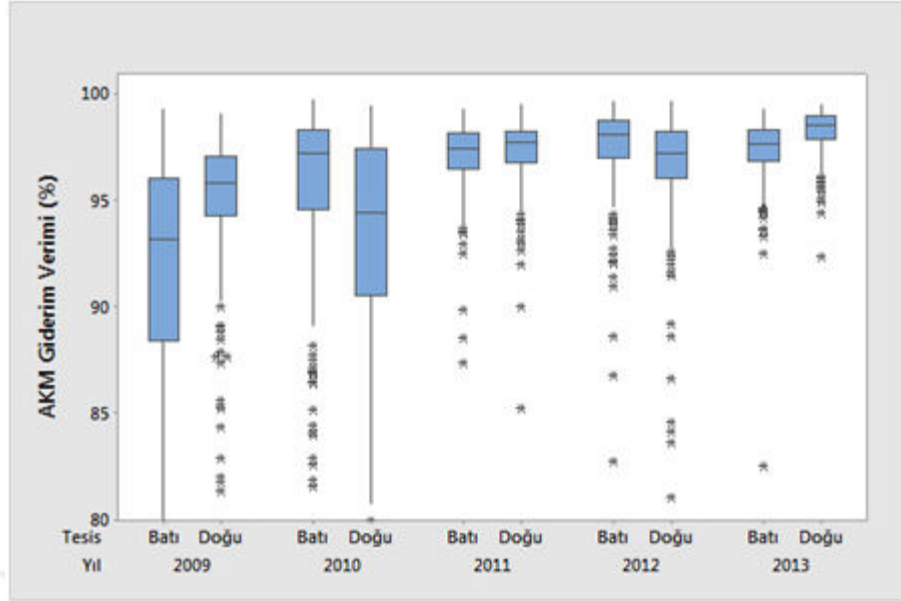
4.3.3. Askıda katı madde (AKM)

Çizelge 4.7’deki Doğu ve Batı AAT’nin 2009-2013 yılları arasında AKM giderim verimleri karşılaştırma sonuçlarına göre; Doğu AAT’nin AKM giderim verimi medyanı % 97, Batı AAT’nin AKM giderim verimi medyanı % 97,14’tür. AKM giderim verimleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır ($P=0,944$). Şekil 4.26’da da görüldüğü gibi her iki tesisin AKM giderim performansının birbirine benzer olduğu ifade edilebilir. Benzer şekilde Erden (2007) tarafından, İzmir’deki kentsel atıksu arıtma tesislerinin 2002-2005 yılları arasındaki performanslarının istatistiksel metodlara göre (ANOVA) değerlendirildiği bir çalışmada, azot ve fosfor giderimi sağlayan İzmir ve Güneybatı AAT’lerin, girişteki ortalama AKM konsantrasyonları istatistiksel olarak birbirlerinden farklı olsa bile (İzmir AAT ort. giriş AKM kons. 217 mg/L, Güneybatı AAT ort. giriş AKM kons. 155 mg/L, $p<0,05$) çıkış AKM konsantrasyonlarının (İzmir AAT ort. çıkış AKM kons. 24,81 mg/L, Güneybatı AAT ort. çıkış AKM kons. 24,58 mg/L, $p>0,05$) birbirlerinden istatistiksel olarak anlamlı farklılık göstermediği belirlenmiştir. İleri biyolojik arıtma yapan İzmir ve Güneybatı AAT’lerin AKM giderim verimlerinin birbirlerine benzer olduğu sonucuna varılmıştır.



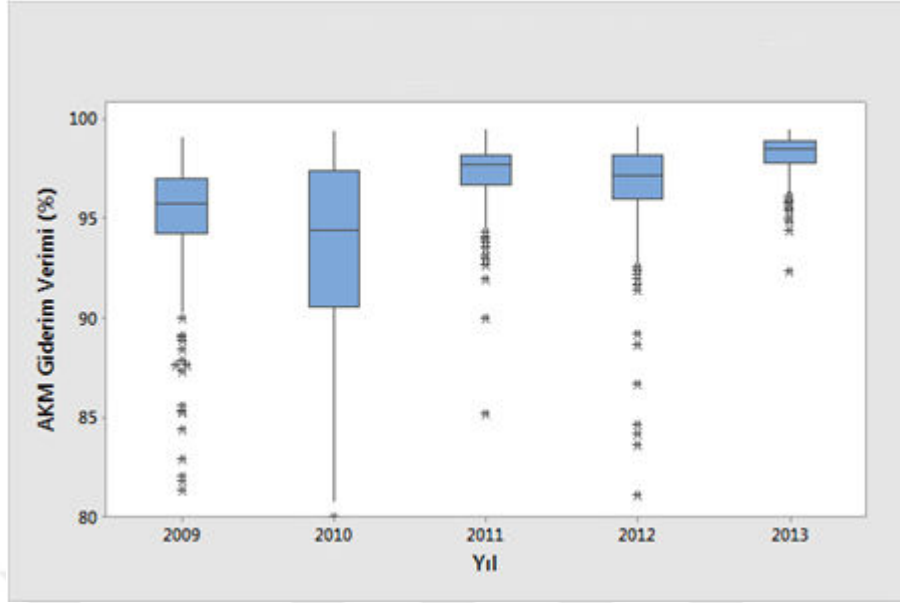
Şekil 4.26. Doğu ve Batı AAT’de AKM giderim verim oranları

Doğu ve Batı AAT verimliliğinin yıllara göre farklılığını belirlemek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirme, Çizelge 4.8’de verilmektedir. Buna göre Doğu ve Batı AAT’nin AKM giderim verimi düzeyleri karşılaştırıldığında, 2011 yılı hariç diğer yıllarda, her iki tesis arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu ($P < 0,001$) belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.27). 2011 yılındaki, her iki tesise ait bu giderim verimi benzerliği; Şekil 4.27’de görüldüğü gibi % 97 ve % 98 arasında yoğunlaşan, 2011 yılı tipik medyan değerlerinden de anlaşılmaktadır.



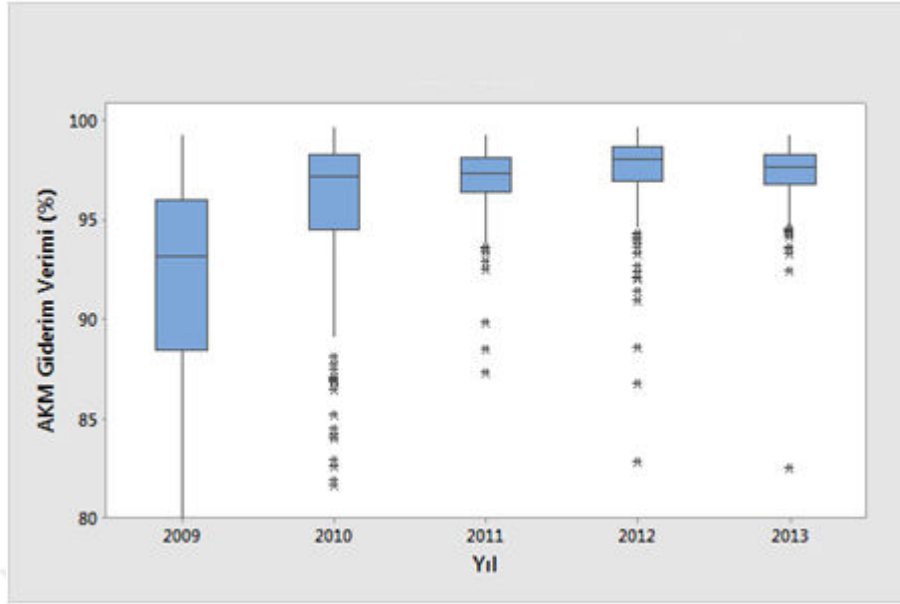
Şekil 4.27. Doğu ve Batı AAT’de AKM giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

Doğu AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında AKM giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2010-2011, 2012-2013 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık olup ($P < 0,001$), 2009-2010 ($P = 0,012$) ve 2011-2012 ($P = 0,007$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.9). Doğu AAT’nin AKM giderimi konusunda en verimli olduğu yıl ise % 98,52 medyan değerine sahip 2013 yılıdır (Çizelge 4.9, Şekil 4.28). Şekil 4.28’de, Doğu AAT’de yıllara göre AKM giderim verim oranlarının değişimi kutu grafiği görülmektedir. Doğu AAT AKM giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 94 ve % 97, 2010 yılında % 90 ve % 97, 2011 yılında % 97 ve % 98, 2012 yılında % 96 ve % 98, 2013 yılında % 97 ve % 98 arasında salınım göstermiştir.



Şekil 4.28. Doğu AAT’de AKM giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

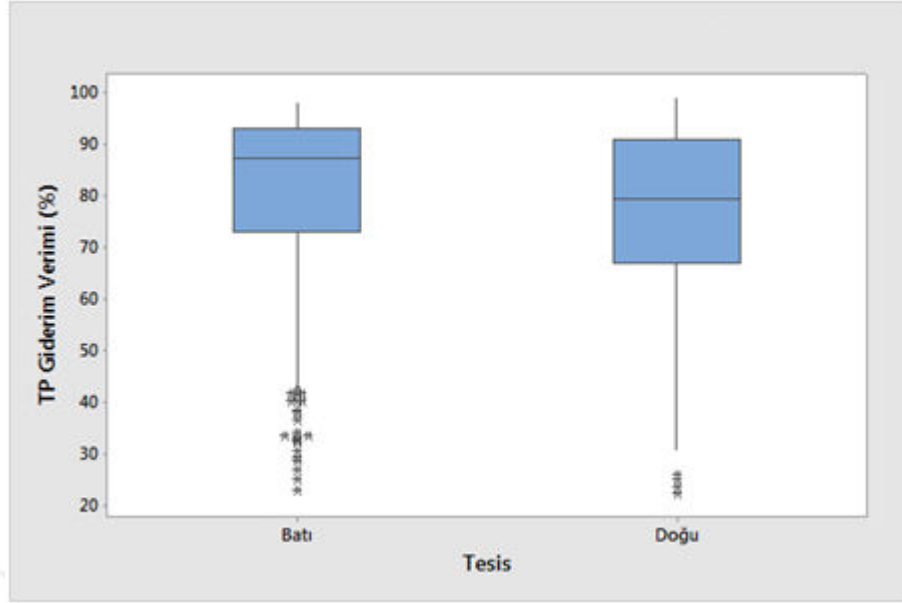
Batı AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında AKM giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2009-2010, 2011-2012, 2012-2013 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık olup ($P < 0,001$), 2010-2011 ($P = 0,016$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.10). Batı AAT’nin AKM giderimi açısından en verimli olduğu yıl, % 98,06 medyan değeriyle 2012’dir (Çizelge 4.10, Şekil 4.29). Bu durum Şekil 4.29’daki, Batı AAT’de yıllara göre AKM giderim verim oranlarının değişimi kutu grafiğinde de görülmektedir. Batı AAT AKM giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 87 ve % 93, 2010 yılında % 95 ve % 98, 2011 yılında % 97 ve % 98, 2012 yılında % 97 ve % 98, 2013 yılında % 97 ve % 98 arasında salınım göstermiştir.



Şekil 4.29. Batı AAT’de AKM giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

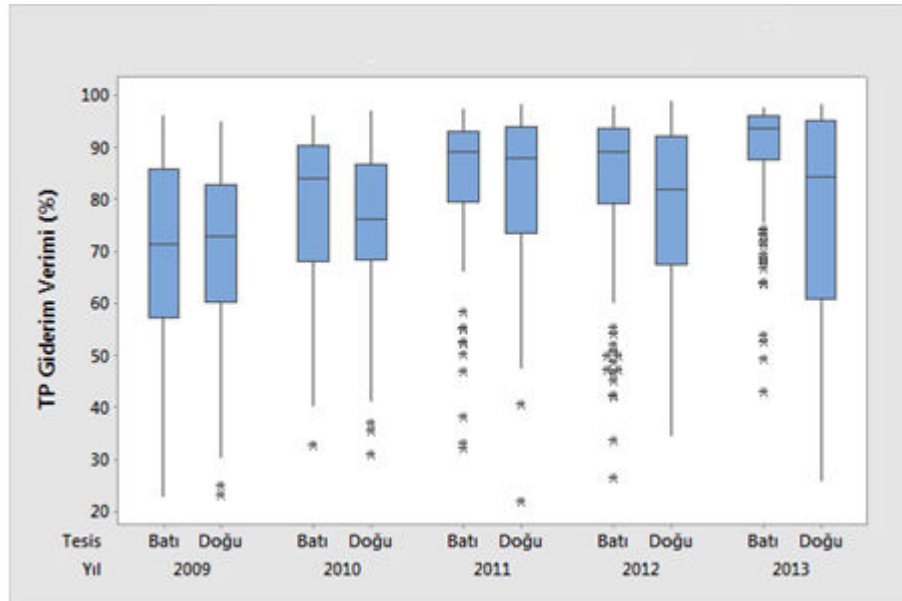
4.3.4. Toplam fosfor (TP)

Çizelge 4.7’deki Doğu ve Batı AAT’nin 2009-2013 yılları arasında TP giderim verimleri karşılaştırma sonuçlarına göre; Doğu AAT’nin TP giderim verimi medyanı % 78,59, Batı AAT’nin TP giderim verimi medyanı % 86,96’dır. TP giderim verimi, her iki tesiste birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı bulunmuştur ($P < 0,001$). Batı AAT’nin TP giderimi konusunda Doğu AAT’den daha verimli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7, Şekil 4.30). Arıtma tesisleri giriş ve çıkış atıksuyundaki KOİ ve BOİ₅ değerlerinin mevsimlere göre karşılaştırıldığı Şekil 4.3 ve 4.4’te; Batı AAT giriş KOİ ve BOİ₅ değerlerinin, Doğu AAT girişe göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 4.3 ve 4.4). Batı AAT’de giriş kirlilik yükleri fazla olduğu için üretilen çamur da fazla olacaktır, bu da uzaklaştırılması gereken çamur miktarını arttırmaktadır. Fosfor, aktif çamur içerisindeki bakterinin bünyesinde uzaklaştırıldığından dolayı Batı AAT’de TP giderim verimi daha fazla olabilir (Vardar 2017).



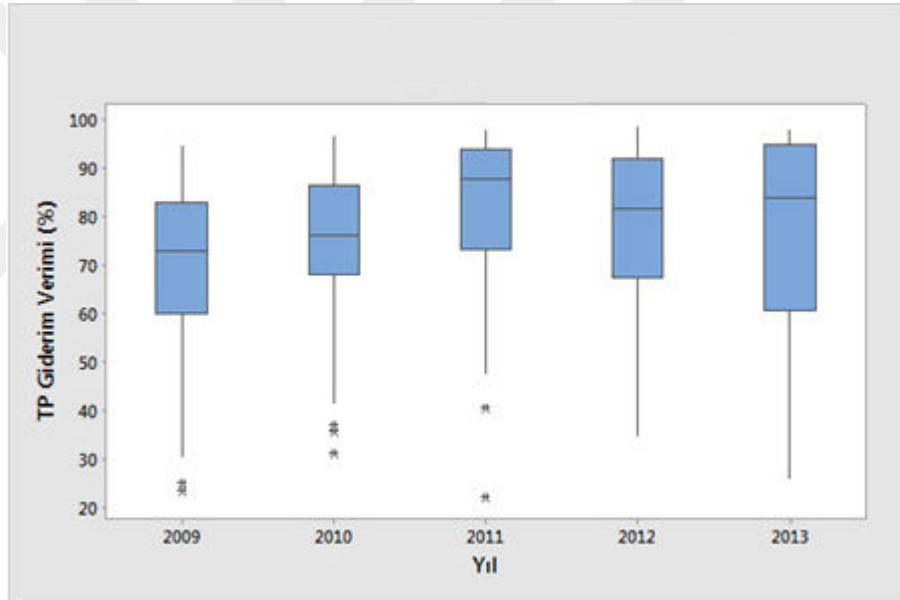
Şekil 4.30. Doğu ve Batı AAT’de TP giderim verim oranları

Doğu ve Batı AAT verimliliğinin yıllara göre farklılığını belirlemek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirme, Çizelge 4.8’de verilmektedir. Buna göre Doğu ve Batı AAT’nin TP verim düzeyleri karşılaştırıldığında 2009 ve 2011 yılları hariç diğer yıllarda, her iki tesisin TP giderim verimleri arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğu ($P < 0,05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.31).



Şekil 4.31. Doğu ve Batı AAT’de TP giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

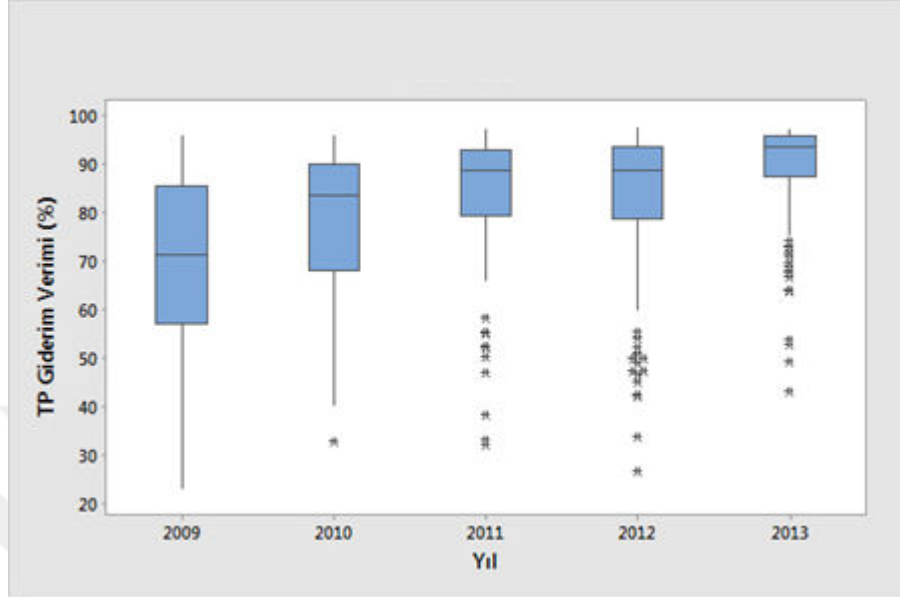
Doğu AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında TP giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2010-2011 ($P<0,001$) yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup 2009-2010 ($P=0,028$), 2011-2012 ($P=0,025$) ve 2012-2013 ($P=0,952$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.9). Doğu AAT’nin TP giderimi konusunda en verimli olduğu yıl ise % 87,40 medyan değerine sahip 2011 yılıdır (Çizelge 4.9, Şekil 4.32). Bu durum Şekil 4.32’deki, Doğu AAT’de yıllara göre TP giderim verim oranlarının değişimi kutu grafiğinde de görülmektedir. Doğu AAT TP giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 60 ve % 83, 2010 yılında % 68 ve % 87, 2011 yılında % 72 ve % 97, 2012 yılında % 70 ve % 93, 2013 yılında % 61 ve % 98 arasında salınım göstermiştir.



Şekil 4.32. Doğu AAT’de TP giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

Batı AAT’de, beş yıllık süreyi kapsayan ve birbirini takip eden yıllar arasında TP giderim verimlerinin değişimi şu şekildedir: 2009-2010, 2010-2011 ve 2012-2013 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olup ($P<0,001$), 2011-2012 ($P=0,394$) yılları arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır (Çizelge 4.10). Batı AAT’nin TP giderimi açısından en verimli olduğu yıl % 93,63 medyan değeriyle 2013 yılıdır (Çizelge 4.10, Şekil 4.33). Bu durum Şekil 4.33’teki, Batı AAT’de yıllara göre TP giderim verim oranlarının değişimi kutu grafiğinde de görülmektedir. Batı AAT TP giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında % 58 ve % 85, 2010

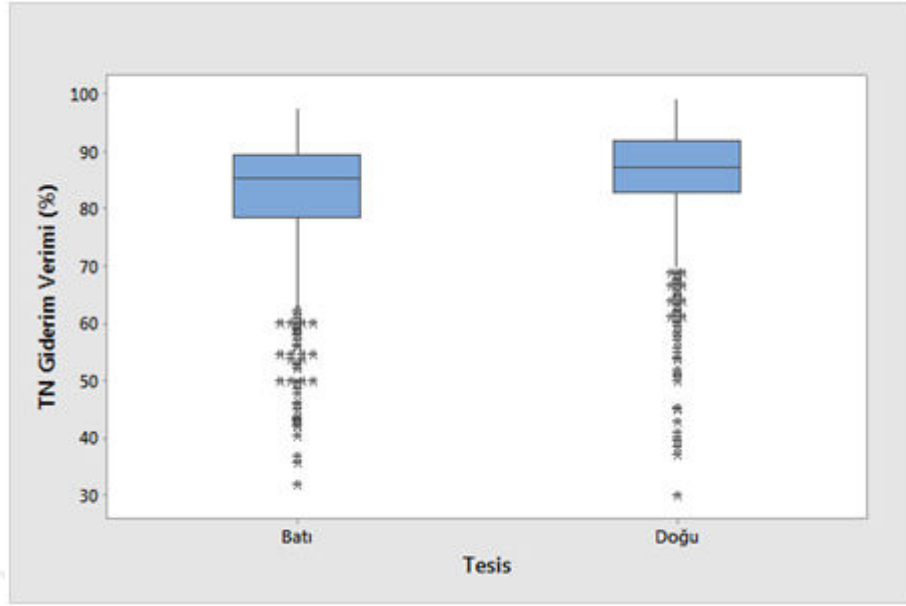
yılında % 68 ve % 90, 2011 yılında % 80 ve % 94, 2012 yılında % 79 ve % 94, 2013 yılında % 90 ve % 98 arasında salınım göstermiştir.



Şekil 4.33. Batı AAT’de TP giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

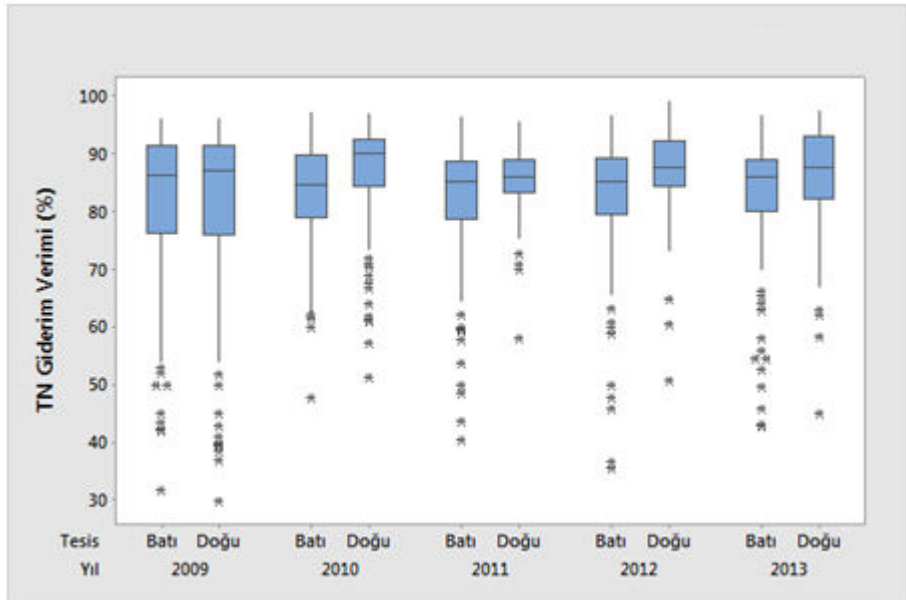
4.3.5. Toplam azot (TN)

Çizelge 4.7’deki Doğu ve Batı AAT’nin 2009-2013 yılları arasında TN giderim verimleri karşılaştırma sonuçlarına göre; Doğu AAT’nin TN giderim verimi medyanı % 87,01, Batı AAT’nin TN verimi medyanı % 85,37’dir. TN giderim verimi her iki tesiste birbirlerinden anlamlı düzeyde farklı bulunmuştur ($P < 0,001$). Doğu AAT’nin TN giderimi konusunda Batı AAT’den daha verimli olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7, Şekil 4.34).



Şekil 4.34. Doğu ve Batı AAT'lerde TN giderim verim oranları

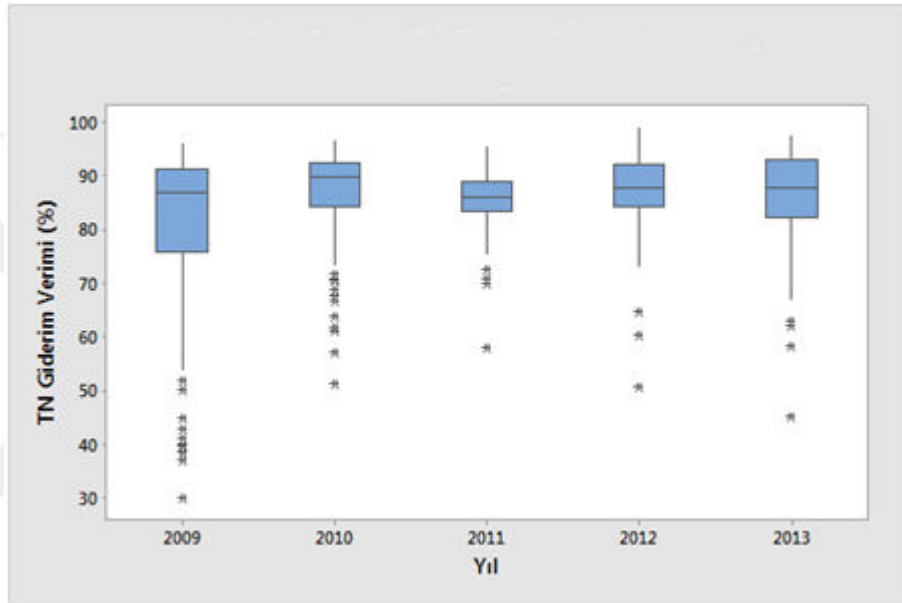
Doğu ve Batı AAT verimliliğinin yıllara göre farklılığını belirlemek amacıyla yapılan istatistiksel değerlendirme, Çizelge 4.8'de verilmektedir. Doğu ve Batı AAT'nin TN giderim verim düzeylerinde 2009 yılı ($P=0,819$) hariç diğer yıllarda istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunduğu ($P<0,05$) belirlenmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Doğu ve Batı AAT'lerde TN giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

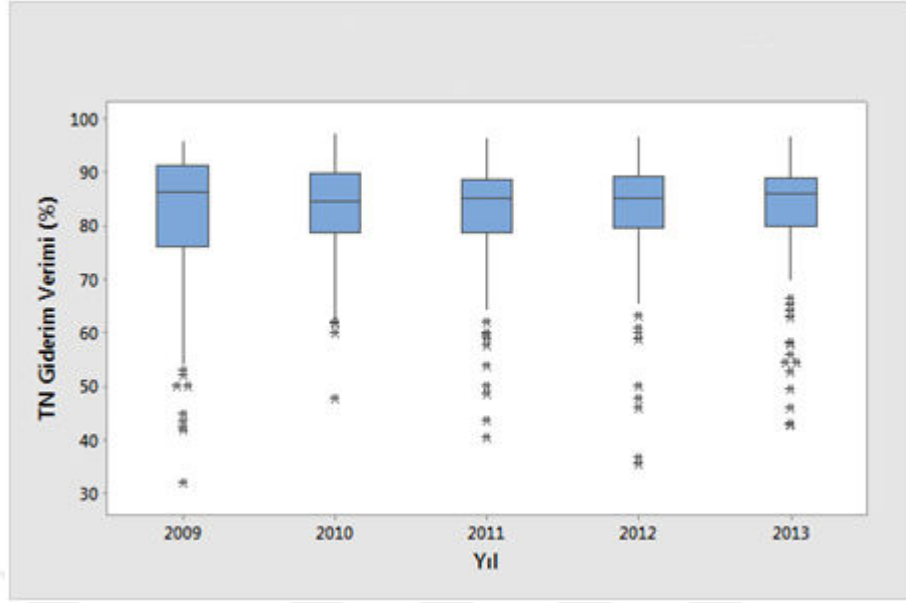
Doğu AAT'de, beş yılı kapsayan süre içerisinde TN giderim verimlerinde: 2009-2010, 2010-2011 ve 2011-2012 yılları arasında istatistiksel olarak anlamlı ölçüde farklılık

($P < 0,001$) olup, 2012-2013 yılları arasında anlamlı farklılık ($P = 0,615$) bulunmamaktadır (Çizelge 4.9). Doğu AAT'nin TN giderimi konusunda en verimli olduğu yıl ise % 90 medyan değerine sahip 2010 yılıdır (Çizelge 4.9, Şekil 4.36). Şekil 4.36'da, Doğu AAT'de yıllara göre TN giderim verim oranlarının değişimi kutu grafiği ile gösterilmiştir. Doğu AAT TN giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 76 ve % 91, 2010 yılında % 84 ve % 92, 2011 yılında % 83 ve % 90, 2012 yılında % 84 ve % 91, 2013 yılında % 83 ve % 92 arasında değişmektedir.



Şekil 4.36. Doğu AAT'de TN giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

Batı AAT'de, 2009-2013 yılları arasında yapılan TN ile ilgili değerlendirme sonuçları Çizelge 4.10'da yer almaktadır. Bu çizelgedeki TN giderim verimi sütunu, “(K-W) P” satırına bakıldığında, $P = 0,715$ değerinin $\alpha = 0,05$ değerinden büyük olduğu görülmektedir. Bu da, söz konusu yıllar arasında TN giderim veriminde istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmadığını ifade etmektedir. Şekil 4.37'de, Batı AAT'de yıllara göre TN giderim verim oranlarının değişimi kutu grafiğinde görülmektedir. Buna göre; Batı AAT TN giderim verimlerine ait tipik medyan değerleri; 2009 yılında çoğunlukla % 77 ve % 92, 2010 yılında % 79 ve % 90, 2011 yılında % 79 ve % 89, 2012 yılında % 80 ve % 89, 2013 yılında % 80 ve % 89 arasında salınım göstermektedir.



Şekil 4.37. Batı AAT’de TN giderim verim oranlarının yıllara göre değişimi

5. SONUÇ

Buski Doğu ve Batı AAT'den 2009-2013 yılları arasında alınan kompozit numunelerde ölçülen pH, iletkenlik, BOİ₅, KOİ, AKM, TN, TP değerleri kullanılarak parametrik olmayan istatistiksel metodlarla Doğu ve Batı AAT verimlerinin incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Doğu ve Batı AAT'lere gelen atıksudaki giriş parametrelerinden; pH, BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerleri ilkbahardan yaz geçerken anlamlı farklılık göstermiştir. İlkbahardan yaz mevsimine geçiş; diğer mevsim geçişlerine göre daha fazla parametreye etki etmiştir. Çıkış atıksu parametrelerinde de benzer şekilde en fazla ilkbahar-yaz mevsim geçişinde anlamlı farklılık oluşmuştur. Bundan sonraki en çok anlamlı farklılık, sonbahar ve kış mevsimleri arasında bulunmuştur.
- 2009-2013 yılları arasındaki tesis giriş ve çıkış verilerinden faydalanılarak hesaplanan BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP giderim verimleri genellikle ilkbahardan yaz geçerken anlamlı farklılık göstermiştir. Bu da, tesis giriş ve çıkış parametre konsantrasyonlarının en çok etkilendiği mevsim geçişiyle aynıdır. En çok verim farklılığının olduğu diğer mevsim geçişleri ise yaz-sonbahar ve sonbahar-kış mevsimleridir. Bu durumun, söz konusu mevsimler arasındaki ani sıcaklık düşüşü ve yükselişi ile yağış durumlarının değişmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.
- Doğu AAT girişindeki BOİ₅ ve KOİ değerleri, aynı mevsim değişimlerinden etkilenmiştir. Kış-ilkbahar, ilkbahar-yaz mevsimleri arasında anlamlı farklılık varken, yaz-sonbahar, sonbahar-kış mevsimleri arasında anlamlı farklılık görülmemiştir. Başka bir deyişle mevsim döngüsünün ilk yarısında, mevsimler arası anlamlı farklılık tespit edilmiştir.
- Doğu AAT girişindeki TN ve TP değerleri; birbirini takip eden dört mevsim arasında da anlamlı farklılık göstermektedir.
- Doğu AAT çıkışındaki BOİ₅, KOİ ve AKM değerleri, birbirini takip eden dört mevsim arasında anlamlı farklılık göstermemektedir. Sadece çıkış KOİ değerlerinde, yaz ve sonbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık

bulunmaktadır. Anlamlı farklılık bulunmadığı durumlarda, mevsim değişiminin etkisi yok denilebilir.

- Batı AAT girişindeki BOİ₅, KOİ, AKM, TN ve TP değerleri, aynı mevsim değişimlerinden etkilenmiştir. Kış-ilkbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık yoktur, ilkbahar-yaz mevsimleri arasında anlamlı farklılık vardır. Ardından gelen yaz ve sonbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık yoktur, sonbahar-kış mevsimleri arasında anlamlı farklılık vardır.
- Batı AAT çıkışındaki pH ve TP değerleri, mevsim değişimlerinden birbirlerine benzer şekilde etkilenmiştir. Kış-ilkbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık yoktur, ilkbahar-yaz mevsimleri arasında anlamlı farklılık vardır. Ardından gelen yaz ve sonbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılık yoktur, sonbahar-kış mevsimleri arasında anlamlı farklılık vardır.
- Doğu ve Batı AAT'lerde TP giderim verimleri aynı mevsim değişimlerinden etkilenmiştir. Kış-ilkbahar ile yaz-sonbahar arasında anlamlı farklılık yoktur, ilkbahar-yaz ile sonbahar-kış arasında anlamlı farklılık vardır.
- Doğu ve Batı AAT'lerde yaz ve sonbahar mevsimlerinde BOİ₅ giderimi, diğer mevsimlerden daha yüksek bulunmuştur.
- Doğu AAT'de kış ve sonbahar mevsimlerinde KOİ giderimi, diğer mevsimlerden daha yüksek bulunmuştur. Batı AAT'de KOİ giderimi açısından en verimli olan mevsim sonbahardır.
- Doğu ve Batı AAT'lerde yaz ve sonbahar mevsimlerinde AKM giderimi, diğer mevsimlerden daha etkili bulunmuştur.
- Doğu AAT'nin TP giderimi konusunda en verimli olduğu mevsim yaz mevsimidir. Batı AAT'nin TP giderim verimi, yaz ve sonbahar mevsimlerinde diğer mevsimlerden daha yüksektir. Bu durumun; yaz aylarında artan sıcaklık etkisiyle mikrobiyal aktivitenin hızlanmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.
- Doğu AAT, TN giderimi açısından sonbaharda diğer mevsimlerden daha verimli bulunurken Batı AAT yaz ve sonbaharda diğer mevsimlere göre daha verimli bulunmuştur.
- 2009-2013 yılları arasındaki beş yıllık kirletici parametre giderim verimleri ele alındığında; BOİ₅, KOİ, TN ve TP giderim verimleri birbirlerinden anlamlı

ölçüde farklı bulunmuştur. AKM giderim verimleri arasında anlamlı farklılık bulunmamaktadır. Doğu AAT'nin Batı AAT'den BOİ₅, KOİ ve TN giderimi konusunda daha verimli olduğu söylenebilir. TP giderim veriminde Batı AAT, Doğu AAT'den daha verimlidir.

- Atıksu arıtma tesisleri giriş parametreleri; atıksu havzasından, sıcaklık ve yağış gibi mevsimsel değişimlerden tesislere gelen suyun karakterinden (örn. evsel atıksu özelliği, endüstriyel salınım vb.) etkilenmektedir. Tesis çıkışındaki parametrelerde ise; mevsimsel değişime ek olarak bakteriyolojik aktivite, çöktürme verimi vb. işletme şartları etkili olmaktadır. Tesislerden çıkan arıtılmış atıksu, arıtma işlemleri ile girişteki atıksuya göre stabil bir hale gelmektedir.
- Her iki tesisin hizmet ettiği nüfus, bu bölgelerdeki yağmur suyu hatları uzunluğu, tesislere gelen atıksuyun farklı karakterde olması (endüstriyel özellikteki atıksuyun katkısı) vb. faktörler tesislere giren atıksuyu önemli ölçüde etkilemektedir. Dolayısı ile Doğu ve Batı AAT'lerde ölçülen parametrelere ait giriş ve çıkış konsantrasyonları ile giderim verimlerinin; mevsimlere ve yıllara göre bir nebze farklılık göstermesi beklenen bir sonuçtur.
- Biyolojik arıtma sistemlerinin performansı; atıksuyun biyolojik olarak ayrışabilme özelliğine, seçilen prosese, aktif çamur havuzlarındaki biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar ile biyokütlenin arıtılmış sudan ayırım verimine bağlıdır. Ayrıca kentsel atıksudaki endüstriyel katkılar, arıtma tesisine giren atıksuyun kirlilik yükünü arttırarak arıtma veriminin düşmesine neden olmaktadır. Endüstriyel atıksuların mümkün olduğunca ön arıtmadan geçirilerek kanalizasyona verilmesi sağlanmalıdır. Atıksu arıtma tesislerinin işletme şartları da arıtma verimini etkilemektedir. Mevsim değişimleri, sıcaklık ve yağış farklılıkları itibariyle tüm bu faktörlere etki edebilir.
- Doğu ve Batı AAT arıtma performanslarına olumsuz etki eden faktörler; sistemdeki çamur hacim indeksini düşürüp suda çökmesini engelleyerek bakterileri inhibe eden; kanalizasyon sistemine gelen yağ, ağır metal gibi maddeler ve yüzer maddelerdir. Düşük çamur hacim indeksi (ÇHİ) de bazı sorunlara neden olur. Yağlar ise şişkin çamur oluşumuna neden olarak çamur çökme özelliğini olumsuz yönde etkiler ve giderim verimini düşürür. Doğu ve Batı AAT'ler için yıl bazında, verim farklılıklarının nedenleri açısından bir kayıt

tutulmamakla birlikte, biyolojik arıtma prosesinin devamı için sistemdeki pH, sıcaklık ve besi maddeleri gibi bazı unsurlar belli sınırlarda tutulmakta, dolayısıyla sistemde genel olarak stabil/dengeli bir durum mevcut olmaktadır.

- AAT işletiminde dikkate alınan en önemli faktörlerden bir tanesi enerji tüketimidir. Mevsim şartları gereği enerji optimizasyonu yapıldığı takdirde, mevsimlere göre verim farklılıkları oluşabilir. Bazı eski yerleşim bölgelerinde kanalizasyon sisteminin tamamen ayırık sistem olmayışı, kent sakinlerinin çatı oluklarını kanalizasyon sistemine bağlamaları vb. sebepler; yağmur suyunun da arıtma tesislerine gelmesine neden olmakta, arıtma işlemine ihtiyacı olmayan yağmur suyunun da arıtma proseslerine katılmasına yol açmaktadır. Bu da arıtma tesislerine gelen hidrolik yükü fazlalaştırarak enerji sarfiyatını arttırmaktadır. Enerji tasarrufu yapılabilmesi ve arıtma tesislerinde mevsimsel etkinin azaltılması için yağmur suyu hatları ve kanalizasyon hatlarının birbirlerinden tam olarak ayrılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., 2011.** Statistics for Business and Economics, 11. Basım. S. 5-7. South-Western.
- Anonim, 2005a.** Biyolojik Arıtma. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum05.pdf>-(Erişim tarihi: 24.12.2005)
- Anonim, 2005b.** Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara
- Anonim, 2005c.** Atıksu Miktar ve Özellikleri. <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/bolum01.pdf>-(Erişim tarihi:24.12.2005)
- Anonim, 2006.** Kentsel Atıksuların Arıtılması Yönetmeliği 08 Ocak 2006 tarih 26047 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Anonim, 2013.** <http://itracode.com/Adepo/Haber/Dosya/189.pdf>-(Erişim tarihi: 2013)
- Anonim, 2014.** Erciyes Üniversitesi Laboratuvar Notları, Kayseri
- Anonim, 2015.** <http://web.itu.edu.tr/~toros/hava/iletkenlik.htm>-(Erişim tarihi: 28/03/2015)
- Anonim, 2016.** http://www.istatistikanaliz.com/kruskal_wallish_testi.asp-(Erişim tarihi: 2016)
- Anonim, 2017.** <http://mustafaotrar.net/istatistik/ornek-bulgulartablo-yorumlari/>-(Erişim tarihi: 19/04/2017)
- Anonymous, 2012.** Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th ed., American Public Health Association, Washington, DC.
- Aquino, S. F., Stuckey, D. C. 2003.** Production of soluble microbial products (SMP) in anaerobic chemostats under nutrient deficiency. *J. Environ. Eng.* 129(11):1007–1014.
- Benisch, M., Clark, D., Neethling, J.B., Fredrickson, H.S., Gu, A. 2007.** Can Tertiary Phosphorus Removal Reliably Produce 10 ug/l? In *Proceedings of Nutrient Removal*, Baltimore, MD.
- BUSKİ, 2007.** Bursa Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Tesis İşletme ve Bakım Kılavuzu, T.C. Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Bursa.
- Cohen, J. 1994.** The earth is round ($P<0.05$). *American Psychologist*, 49:997-1003.
- Crawford, G., Daigger, G., Erdal, Z., 2006.** Enhanced Biological Phosphorus Removal within Membrane Bioreactors. In *Proceedings of the Water Environment Federation's 79th Annual Technical and Educational Conference*, October 21–25, Dallas, TX.
- Damar, Y. 2009.** Tekstil Endüstrisi Atıksularının Ardışık Kesikli Biyoreaktör ile Arıtılması ve Modellenmesi. *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Doymuş, K., 2009.** Non-parametrik Testler. <https://kemaldoymus.files.wordpress.com/.../non-parametrik-testler1.pp>-(Erişim tarihi:08.12.2009)
- Efe, M., 2016. Sözlü görüşme.** Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı, Doğu Atıksu Arıtma Tesisi, Bursa, (Görüşme tarihi: Ekim 2016), e-posta: mefe@buski.gov.tr
- Emara, M. M., Ahmed, F. A., Farouk, M. A., Abd El –Razek, A.M. A. 2014.** Biological Aspects of the Wastewater Treatment Plant “Mahala Marhoom” in Egypt and Modified with Bardenpho Processes. *Nature and Science*, 12(10):41-51.
- Erden, E. P. 2007.** Data Analysis For Municipal Treatment Plants in İzmir City. *Yüksek Lisans Tezi*, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

- Eren, B., Suroğlu, B., Ateş, A., İleri, R., Keleş, R. 2007.** Adapazarı Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Atıksuyunun Karakterizasyonunun İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. Üniversite Öğrencileri 2. Çevre Sorunları Kongresi, 16–18 Mayıs 2007, İstanbul.
- European Communities, 2001.** Pollutants in urban wastewater and sewage sludge. Final Report, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, ISBN 92-894-1735-8.
- Gürel, T. B., 2004.** Niğde Üni. İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Pazarlama Bölümü Ders Notları, Niğde
- Henze, M. 1992.** Characterization of water for modelling of activated sludge processes. *Water Science and Technology*, 25(6): 1-15.
- Henze, M., Harremoes, P., Jansen, J. C., Arvin, E. 2002.** Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes. 3rd ed, Berlin.
- Huang, H. M. J., O’Neil, R. T., Bauer, P., Kohne, K. 1997.** The behavior of the P-value when alternative hypothesis is true? *Biometrics* 53:11-22.
- Hussain, M. 2007.** Competitive performance evaluation of wastewater treatment plants of Karachi and impact of untreated wastewater on some edible fishes of Arabian sea. *Doktora Tezi*, Karachi Üniversitesi Kimya Departmanı, Pakistan.
- Khan, M. A., Ahmad, S. I. 1992.** Performance Evaluation of Pilot Waste Stabilization Ponds in Subtropical Region. *Wat. Sci. Tech.*, 20(7-8): 1717-1728.
- Korkusuz, E. A., Beklioğlu, M. ve Demirer, G. N., 2005.** Comparison of the treatment performances of blast furnace slag-based and gravel-based vertical flow wetlands operated identically for domestic wastewater treatment in Turkey. *Ecological Engineering*, 24(3):187-200.
- Koyuncu, İ. 2012.** Atıksu Arıtma Tesisleri Tasarım Rehberi, Atıksu Arıtma Tesislerinin Planlama, Tasarım ve İnşaatı ile İlgili Genel İhtiyaçlar ve Şartlar, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Little, T. M. 1981.** Interpretation and presentation of results. *Hortscience* 16:637-640.
- Manahan, E. Stanley, 1993.** Fundamentals of Environmental Chemistry, Lewis Publishers.
- Mara, D.1978.** Sewage Treatment in Hot Climates. John Willey and Sons,
- McBean, E. A., Rovers, F. A., 1998.** Statistical Procedures for Analysis of Environmental Monitoring Data and Risk Assessment. Prentice Hall, NJ. McBean, E.
- Metcalf & Eddy, 1991.** Inc, Wastewater Engineering Treatment Disposal and Reuse, 3rd ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- Metcalf & Eddy., 2004.** Wastewater Treatment, Disposal and Reuse, McGraw Hill Publishing, New York.
- Oğuzlar, A. 2007.** İstatistiksel Veri Analizi-1, Ezgi Kitabevi Yayınları, Bursa.
- Oswald, W. J. 1995.** Ponds in the Twenty-first Century. *Wat.Sci.Tech.* 31(12): 1-8.
- Özdamar, K., 2004.** Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi, Kaan Kitabevi, 5. Baskı
- Rheinheimer, G. 1971.** Aquatic Microbiology. John Wiley & Sons, London-N.Y-Sydney-Toronto. s. 128-135
- Rittmann, B. E., 1987.** Aerobic Biological Treatment. *Env. Sci. Tech.*, 21, 128-36.
- Salihoglu, K. 2012.** Assessment of Urban Source Metal Levels in Influent, Effluent, and Sludge of Two Municipal Biological Nutrient Removal Wastewater Treatment Plants of Bursa, an Industrial City in Turkey. *Clean – Soil, Air, Water* 2013, 41(2): 153–165.

- Samsunlu, A., 1997.** Çevre Mühendisliği Kimyası, SAM Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları, 4. Baskı
- Samsunlu, A., 2006.** Atıksuların Arıtılması, Birsen Yayınevi
- Sarı S., Özdemir, G., Gömeç, Ç. Y., Zengin, G. E., Topuz, E., Aydın, E., Mantaş, E. P., Taş, D. O. 2014.** Seasonal variation of diclofenac concentration and its relation with wastewater characteristics at two municipal wastewater treatment plants in Turkey, Istanbul. *Journal of Hazardous Materials*, 272: 155–164.
- Sarıyıldız, A., Harmancıoğlu, N., Silay, A., Çetin, H. C. 2009.** Gediz Nehri Su Kalitesi Parametrelerinin Eğilim Analizi. TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, 8-10 Ocak 2009, İzmir.
- Schervish, M. J. 1996.** P values: What they are and what they are not. *The American Statistician*, 50,3,203-206.
- Sharma, P. K., Takashi, I., Kato, K., Ietsugu, H., Tomita, K., Nagasawa, T. 2012.** Seasonal efficiency of a hybrid sub-surface flow constructed wetland system in treating milking parlor wastewater at northern Hokkaido, Japan. *Ecological Engineering*, 53: 257– 266.
- Silva, C., Quadros S., Ramalho P., Alegre H., Rosa M. J. 2014.** Translating removal efficiencies into operational performance indices of wastewater treatment Plants. *Water Research*, 57: 202-214
- Song, Z., Zheng, Z., Li, J., Sun, X., Han, X., Wang, W., Xu, M. 2006.** Seasonal and annual performance of a full-scale constructed wetland system for sewage treatment in China. *Ecological Engineering*, 26: 272–282
- Speiles, D. J., Mitsch, W. J. 2000.** The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low and high nutrient riverine systems. *Ecol. Eng.* 14: 77-91.
- Strathman, H. 1985.** Membranes And Membrane Processes In Biotechnology. *Trends In Biotechnology*, 3, 112-8.
- Tamer, A. Ü., Şahin, N., İpek, I., Kalmış, E. 1994.** Ekosistemlerdeki Azot Devrinde Mikroorganizmaların Yeri. *Çevre Dergisi*, 11: 8-11.
- Tanyol, M., Uslu, G., 2013.** Tunceli Evsel Atıksu Arıtma Tesisinin Arıtma Etkinliğinin Değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2): 24-29.
- Ten States Standard 2004,** Recommended Standards For Wastewater Facilities; Health Research, Inc., Health Education Services Division., Albany, NY, ABD (<http://www.healthresearch.org/store>)
- Toprak, H. 2000.** Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Cilt-1 ve Cilt-2 (Genişletilmiş 3.Baskı), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.
- Türker, U., Okaygün, M., Almaqadma, S. J. 2009.** Impact of anaerobic lagoons on the performance of BOD and TSS removals at the Haspolat (Mia Milia) Wastewater Treatment Plant. *Desalination*, 249: 403–410
- Ural, A., Kılıç, İ., 2006.** Bilimsel Araştırma Süreci ve SPSS İle Veri Analizi, Detay Yayıncılık, Ankara.
- Uslu, O., 1991.**İski Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarj Yönetmeliğinde Değişiklik Önerilerinin Değerlendirilmesi: Endüstriyel Atıksuların Ön Arıtılması, Teknoloji İletimi Semineri No:1 İSO-SKATMK (Su Kirlenmesi Araştırmaları Türk Milli Komitesi ve İstanbul Sanayi Odası), İstanbul.

Uysal, Y., Üstünyıldız, B., 2016.Beş Kademeli Modifiye Bardenpho Prosesi ile Atıksulardan Azot ve Fosfor Giderimi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1): 46-53

Vardar, İ., 2016. Sözlü görüşme. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Kuzu Grup, Bursa, (Görüşme tarihi: 26.11.2016), e-posta: idrisvardar@kuzugrup.com

Vardar, İ., 2017. Yazılı görüşme. Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Kuzu Grup, Bursa, (Görüşme tarihi: 24.04.2017), e-posta: idrisvardar@kuzugrup.com

Vialatte, F. B., Cichocki, A., 2008. Spit Test Bonferonni Correction for QEEG statistical maps. *Biological Cybernetics*, 98, 208-303.

Wittgren, H. B., Maehlum, T. 1997. Wastewater treatment wetlands in cold climates. *Water Sci. Technol.* 35: 45-53.

Yılmaz, S. 2016. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi Mikrobiyal Yapısı ve İşletme Performansının Beklenen Tasarım Kabulleri ile Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşe GÜNEŞ ÇEPNİ

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa 03.12.1986

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Emir Sultan Lisesi, 2003

Lisans : Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü, 2008

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : İSKİ, 2011-2013
BUSKİ, 2013- Devam ediyor.

İletişim (e-posta) : agunes@buski.gov.tr

