

**PORSUK ÇAYI'NIN SU KALİTE İNDEKSLERİNE GÖRE  
DEĞERLENDİRİLMESİ VE BARAJ GÖLÜ TROFİK SEVİYESİNİN  
BELİRLENMESİ**

Merve ŞAHİN

DOKTORA TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nisan, 2018

*Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1509F625 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.*

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Merve Şahin'in "Porsuk Çayı'nın Su Kalite İndekslerine Göre Değerlendirilmesi Ve Baraj Gölü Trofik Seviyesinin Belirlenmesi" başlıklı tezi 26/04/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Ünvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı) : Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK	.....
Üye : Prof. Dr. Cengiz TÜRE	.....
Üye : Prof. Dr. Ümran TEZCAN ÜN	.....
Üye : Prof. Dr. Özgür EMİROĞLU	.....
Üye : Dr. Öğretim Üyesi Esengül KÖSE	.....

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Ersin YÜCEL

## ÖZET

# PORSUK ÇAYI'NIN SU KALİTE İNDEKSLERİNE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ VE BARAJ GÖLÜ TROFİK SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

Merve ŞAHİN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nisan 2018

Danışman: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK

Tüm canlıların hayatta kalmaları için mutlak gerekli ve en önemli doğal kaynak olan suyun günümüz şartlarında kullanılabilen miktarı oldukça azalmıştır. Son yıllarda nüfus, sanayileşme ve kentleşmenin hızla artması ile birlikte atıksuların arıtılmadan su kaynaklarına verilmesi, tarımda kullanılan gübre ve tarım ilaçlarının su kaynaklarına karışması ve su tüketiminin artması sonucunda akarsularda, göl ve denizlerdeki su kalitesindeki değişimin incelenmesi oldukça önem kazanmıştır. Sularda bazı parametrelerinin izlenmesi ile su kalite indeksleri ortaya konulmuştur. En yaygın kullanılan ve en çok bilinen su kalite indeksi Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi (NSFWQI)'dir. Sulardan elde edilen veriler ışığında su kalite sınıflandırması yapılmakta ve mevcut duruma göre geleceğe yönelik çözümler üretilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'de oldukça yeni ele alınmaya başlanılan ve Porsuk Çayı'nda ilk kez araştırılan su kalite indeksine bağlı su kalite sınıflarının tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, Porsuk Çayı'nın kaynağından Sakarya Nehri ile birleştiği yere kadar seçilen istasyonlardan alınan su örneklerinde; sıcaklık (yüzey ve dip sıcaklık farkı), pH, bulanıklık, fekal koliform (En Muhtemel Sayı Yöntemi), çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfat ve toplam nitrat analizleri yapılmış ve NSFWQI (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi)'ne göre su kalite sınıfları belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, günümüzde oldukça önemli araştırma konularından birisi olan göllerde trofik seviyenin saptanması çalışmalarına katkıda bulunmak amaçlı Porsuk Baraj Gölü'nün trofik seviyesi de tespit edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Su kalite indeksi, Porsuk Çayı, Trofik seviye, Kütahya, Eskişehir

## **ABSTRACT**

### **ASSESSMENT of PORSUK STREAM ACCORDING to WATER QUALITY INDEXES AND DETERMINATION of DAM LAKE TROPHIC LEVEL**

Merve ŞAHİN

Department of Environmental Engineering

Anadolu University, Institute of Science and Technology, April 2018

Supervisor: Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK

Water is the most common source of living organisms that is found naturally on earth. The available amount of water sources that is important for living organisms are greatly diminished. In recent years, with the increasing population, industrialization and urbanization, giving the wastewater treatment without water supply, increasing consumption of water and using the containing fertilizer and pesticides in agriculture became important to examine the changes water quality. Water quality indexes are appeared with the monitoring of the water quality parameters. The most commonly used and most well known water quality index is National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSFWQ). The water quality classification made in light of the obtained data and solutions are developed for the future based on the current situations.

In this study, the water samples are taken at the selected stations where the source of Porsuk Dam Lake and Porsuk Stream until they join up the Sakarya River and temperature (surface and bottom temperature difference), pH, fecal coliform (Most Probable Number Method), dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total phosphate and total nitrate analysis are conducted. The water quality classes are determined according to NSFWQ (National Sanitation Foundation Water Quality Index). The trophic level of Porsuk Dam Lake are determined.

**Keywords:** Water Quality Index, Porsuk Stream, Trophic level, Kütahya, Eskişehir

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam ve hayatımın her aőamasında değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve her zaman yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Arzu ÇİÇEK'e içtenlikle teşekkür ederim.

Bu tezin oluşmasında ve geliőmesinde yardımlarını esirgemeyen, arazi çalışmaları ve bu çalışmanın değerlendirilmesi sırasında yardımları ve manevi destekleri için Prof. Dr. Cengiz TÜRE, Prof. Dr. Özgür EMİROğLU, Dr. Öğr. Üyesi Esengül KÖSE, Uzman Biyolog Sercan BAŐKURT, Öğr. Gör. Sadi AKSU'ya ve gece gündüz demeden laboratuvar çalışmalarında yanımda olan Aysun AKSAKAL ve İbrahim AKSAKAL'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aőamasında olduğu gibi, çalışmamın baőından sonuna kadar maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Zübeyde UYLAŐ ve babam Erdal UYLAŐ'a ve eőim Ahmet şAHİN'e sabır ve anlayıőlarından dolayı sonsuz minnetlerimi sunarım.

26/04/2018

## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Merve ŞAHİN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. SU KALİTESİ .....	4
2.1. Su Kalite İndeksi .....	7
2.1.1. Sıcaklık.....	14
2.1.2. pH .....	16
2.1.3. Çözünmüş oksijen .....	17
2.1.4. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ).....	19
2.1.5. Nitrat .....	20
2.1.6. Toplam Fosfor-Fosfat .....	21
2.1.7. Bulanıklık.....	23
2.1.8. Fekal koliform .....	24
2.2. Göllerin Trofik Seviyesi .....	26
2.2.1. Göl ekosistemi ve özellikleri .....	26
2.2.2. Göllerin Trofik Seviyesi .....	28
2.2.3. Ötrofikasyon .....	34
3. MATERYAL VE METOT .....	37
3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri.....	37
3.2. Deneysel Çalışma.....	42
4. BULGULAR .....	43

<b>4.1. Su Kalite İndeksi .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2. Baraj Gölü Trofik Seviyesi.....</b>	<b>119</b>
<b>4.3. İstatistiksel Analizler.....</b>	<b>121</b>
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....</b>	<b>128</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>135</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Önem sırasına göre seçilen parametrelerin listesi.....	9
Çizelge 2.2. NFS-WQI'da bulunan parametrelerin önem dereceleri ve ağırlıkları .....	10
Çizelge 2.3. NSF-WQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları .....	10
Çizelge 2.4. CWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları .....	12
Çizelge 2.5. OWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları .....	13
Çizelge 2.6. Su kalite indekslerinin avantaj ve dezavantajları.....	13
Çizelge 2.7. Enterobacteriaceae familyasının sınıflandırma piramidi .....	24
Çizelge 2.8. Enterobacteriaceae familyasının bazı özellikleri .....	25
Çizelge 2.9. Trofik seviyeye göre göllerin sınıflandırılması .....	29
Çizelge 2.10. Trofik durum ile ilişkili bazı indikatörler .....	32
Çizelge 2.11. Ötrofikasyona etki eden parametreler.....	35
Çizelge 3.1. Porsuk çayı ve havzasını etkileyen antropojen kaynaklar.....	37
Çizelge 3.2. Örnekleme yapılan istasyonların bilgileri.....	40
Çizelge 4.2. Göl, gölet ve baraj göllerinde trofik sınıf sistemi sınır değerleri.....	119
Çizelge 4.3. Betimsel istatistikler .....	122
Çizelge 4.4. Korelasyon tablosu.....	123
Çizelge 4.5. Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk testleri.....	125
Çizelge 4.6. Varyans büyütme çarpanı değerleri .....	126
Çizelge 4.7. Regresyon analizi .....	127
Çizelge 4.8. Anova (F-Testi).....	127

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Sıcaklık değişimi için Q değerleri .....	15
Şekil 2.2. pH değişimi için Q değerleri .....	17
Şekil 2.3. Çözünmüş oksijen dengesi ve etki parametreleri .....	18
Şekil 2.4. Çözünmüş oksijen değişimi için Q değerleri .....	19
Şekil 2.5. BOI <sub>5</sub> değişimi için Q değerleri .....	20
Şekil 2.6. Doğadaki azot döngüsü .....	20
Şekil 2.7. Toplam nitrat değişimi için Q değerleri .....	21
Şekil 2.8. Toplam fosfor değişimi için Q değerleri .....	22
Şekil 2.9. Bulanıklık değişimi için Q değerleri .....	24
Şekil 2.10. Fekal koliform değişimi için Q değerleri .....	25
Şekil 2.11. Bir gölde termal tabakalaşma .....	28
Şekil 2.12. Seki diski .....	31
Şekil 3.1. Kütahya ili sıcaklık seviyeleri (°C) .....	38
Şekil 3.2. Kütahya ili yağış seviyeleri (mm) .....	38
Şekil 3.3. Kütahya ili nispi nem seviyeleri (%) .....	39
Şekil 3.4. Eskişehir ili sıcaklık seviyeleri (°C) .....	39
Şekil 3.5. Eskişehir ili yağış seviyeleri (mm) .....	39
Şekil 3.6. Eskişehir ili nispi nem seviyeleri (%) .....	40
Şekil 3.7. Çalışma alanı .....	41

<b>Şekil 4.1.</b> Mayıs 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L) .....	44
<b>Şekil 4.2.</b> Haziran 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L).....	44
<b>Şekil 4.3.</b> Temmuz 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L) .....	45
<b>Şekil 4.4.</b> Ağustos 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L) .....	45
<b>Şekil 4.5.</b> Eylül 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L).....	46
<b>Şekil 4.6.</b> Ekim 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L).....	46
<b>Şekil 4.7.</b> Kasım 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L) .....	47
<b>Şekil 4.8.</b> Aralık 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L) .....	47
<b>Şekil 4.9.</b> Ocak 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L).....	48
<b>Şekil 4.10.</b> Şubat 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L) .....	48
<b>Şekil 4.11.</b> Mart 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L).....	49
<b>Şekil 4.12.</b> Nisan 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L).....	49
<b>Şekil 4.13.</b> Yıllık ortalama çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L).....	50
<b>Şekil 4.14.</b> Mayıs 2016 sıcaklık seviyeleri (°C).....	51
<b>Şekil 4.15.</b> Haziran 2016 sıcaklık seviyeleri (°C) .....	51
<b>Şekil 4.16.</b> Temmuz 2016 sıcaklık seviyeleri (°C).....	52
<b>Şekil 4.17.</b> Ağustos 2016 sıcaklık seviyeleri (°C).....	52
<b>Şekil 4.18.</b> Eylül 2016 sıcaklık seviyeleri (°C) .....	53
<b>Şekil 4.19.</b> Ekim 2016 sıcaklık seviyeleri (°C) .....	53
<b>Şekil 4.20.</b> Kasım 2016 sıcaklık seviyeleri (°C).....	54
<b>Şekil 4.21.</b> Aralık 2016 sıcaklık seviyeleri (°C).....	54

<b>Şekil 4.22.</b> Ocak 2017 sıcaklık seviyeleri (°C).....	55
<b>Şekil 4.23.</b> Şubat 2017 sıcaklık seviyeleri (°C).....	55
<b>Şekil 4.24.</b> Mart 2017 sıcaklık seviyeleri (°C).....	56
<b>Şekil 4.25.</b> Nisan 2017 sıcaklık seviyeleri (°C).....	56
<b>Şekil 4.26.</b> Mayıs 2016 pH seviyeleri.....	58
<b>Şekil 4.27.</b> Haziran 2016 pH seviyeleri.....	58
<b>Şekil 4.28.</b> Temmuz 2016 pH seviyeleri.....	59
<b>Şekil 4.29.</b> Ağustos 2016 pH seviyeleri.....	59
<b>Şekil 4.30.</b> Eylül 2016 pH seviyeleri.....	60
<b>Şekil 4.31.</b> Ekim 2016 pH seviyeleri.....	60
<b>Şekil 4.32.</b> Kasım 2016 pH seviyeleri.....	61
<b>Şekil 4.33.</b> Aralık 2016 pH seviyeleri.....	61
<b>Şekil 4.34.</b> Ocak 2017 pH seviyeleri.....	62
<b>Şekil 4.35.</b> Şubat 2017 pH seviyeleri.....	62
<b>Şekil 4.36.</b> Mart 2017 pH seviyeleri.....	63
<b>Şekil 4.37.</b> Nisan 2017 pH seviyeleri.....	63
<b>Şekil 4.38.</b> Yıllık ortalama pH seviyeleri.....	64
<b>Şekil 4.39.</b> Mayıs 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	65
<b>Şekil 4.40.</b> Haziran 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	65
<b>Şekil 4.41.</b> Temmuz 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	66
<b>Şekil 4.42.</b> Ağustos 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	66

<b>Şekil 4.43.</b> Eylül 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	67
<b>Şekil 4.44.</b> Ekim 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	67
<b>Şekil 4.45.</b> Kasım 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	68
<b>Şekil 4.46.</b> Aralık 2016 BOİ seviyeleri (mg/L).....	68
<b>Şekil 4.47.</b> Ocak 2017 BOİ seviyeleri (mg/L).....	69
<b>Şekil 4.48.</b> Şubat 2017 BOİ seviyeleri (mg/L).....	69
<b>Şekil 4.49.</b> Mart 2017 BOİ seviyeleri (mg/L).....	70
<b>Şekil 4.50.</b> Nisan 2017 BOİ seviyeleri (mg/L).....	70
<b>Şekil 4.51.</b> Yıllık ortalama BOİ seviyeleri (mg/L).....	71
<b>Şekil 4.52.</b> Mayıs 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	72
<b>Şekil 4.53.</b> Haziran 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	72
<b>Şekil 4.54.</b> Temmuz 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	73
<b>Şekil 4.55.</b> Ağustos 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	73
<b>Şekil 4.56.</b> Eylül 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	74
<b>Şekil 4.57.</b> Ekim 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	74
<b>Şekil 4.58.</b> Kasım 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	75
<b>Şekil 4.59.</b> Aralık 2016 nitrat seviyeleri (mg/L).....	75
<b>Şekil 4.60.</b> Ocak 2017 nitrat seviyeleri (mg/L).....	76
<b>Şekil 4.61.</b> Şubat 2017 nitrat seviyeleri (mg/L).....	76
<b>Şekil 4.62.</b> Mart 2017 nitrat seviyeleri (mg/L).....	77
<b>Şekil 4.63.</b> Nisan 2017 nitrat seviyeleri (mg/L).....	77

<b>Şekil 4.64.</b> Yıllık ortalama nitrat seviyeleri (mg/L) .....	78
<b>Şekil 4.65.</b> Mayıs 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L) .....	80
<b>Şekil 4.66.</b> Haziran 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L).....	80
<b>Şekil 4.67.</b> Temmuz 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L) .....	81
<b>Şekil 4.68.</b> Ağustos 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L) .....	81
<b>Şekil 4.69.</b> Eylül 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L).....	82
<b>Şekil 4.70.</b> Ekim 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L).....	82
<b>Şekil 4.71.</b> Kasım 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L).....	83
<b>Şekil 4.72.</b> Aralık 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L) .....	83
<b>Şekil 4.73.</b> Ocak 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L).....	84
<b>Şekil 4.74.</b> Şubat 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L) .....	84
<b>Şekil 4.75.</b> Mart 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L).....	85
<b>Şekil 4.76.</b> Nisan 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L) .....	85
<b>Şekil 4.77.</b> Yıllık ortalama toplam fosfat değerleri (mg/L).....	86
<b>Şekil 4.78.</b> Mayıs 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU) .....	88
<b>Şekil 4.79.</b> Haziran 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU).....	88
<b>Şekil 4.80.</b> Temmuz 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU).....	89
<b>Şekil 4.81.</b> Ağustos 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU) .....	89
<b>Şekil 4.82.</b> Eylül 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU).....	90
<b>Şekil 4.83.</b> Ekim 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU).....	90
<b>Şekil 4.84.</b> Kasım 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU).....	91

<b>Şekil 4.85.</b> Aralık 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU) .....	91
<b>Şekil 4.86.</b> Ocak 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU) .....	92
<b>Şekil 4.87.</b> Şubat 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU) .....	92
<b>Şekil 4.88.</b> Mart 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU).....	93
<b>Şekil 4.89.</b> Nisan 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU) .....	93
<b>Şekil 4.90.</b> Yıllık ortalama bulanıklık seviyeleri (NTU) .....	94
<b>Şekil 4.91.</b> Mayıs 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml) .....	95
<b>Şekil 4.92.</b> Haziran 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml) .....	95
<b>Şekil 4.93.</b> Temmuz 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml).....	96
<b>Şekil 4.94.</b> Ağustos 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml).....	96
<b>Şekil 4.95.</b> Eylül 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml) .....	97
<b>Şekil 4.96.</b> Ekim 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml) .....	97
<b>Şekil 4.97.</b> Kasım 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml).....	98
<b>Şekil 4.98.</b> Aralık 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml).....	98
<b>Şekil 4.99.</b> Ocak 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml).....	99
<b>Şekil 4.100.</b> Şubat 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml).....	99
<b>Şekil 4.101.</b> Mart 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml) .....	100
<b>Şekil 4.102.</b> Nisan 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml).....	100
<b>Şekil 4.103.</b> Mayıs 2016 WQI değerleri .....	102
<b>Şekil 4.104.</b> Haziran 2016 WQI değerleri .....	102
<b>Şekil 4.105.</b> Temmuz 2016 WQI değerleri.....	103

<b>Şekil 4.106.</b> Ağustos 2016 WQI değerleri.....	103
<b>Şekil 4.107.</b> Eylül 2016 WQI değerleri .....	104
<b>Şekil 4.108.</b> Ekim 2016 WQI değerleri .....	104
<b>Şekil 4.109.</b> Kasım 2016 WQI değerleri .....	105
<b>Şekil 4.110.</b> Aralık 2016 WQI değerleri.....	105
<b>Şekil 4.111.</b> Ocak 2017 WQI değerleri .....	106
<b>Şekil 4.112.</b> Şubat 2017 WQI değerleri.....	106
<b>Şekil 4.113.</b> Mart 2017 WQI değerleri .....	107
<b>Şekil 4.114.</b> Nisan 2017 WQI değerleri .....	107
<b>Şekil 4.115.</b> 1. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	109
<b>Şekil 4.116.</b> 2. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	109
<b>Şekil 4.117.</b> 3. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	110
<b>Şekil 4.118.</b> 4. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	110
<b>Şekil 4.119.</b> 5. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	111
<b>Şekil 4.120.</b> 6. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	111
<b>Şekil 4.121.</b> 7. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	112
<b>Şekil 4.122.</b> 8. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	112
<b>Şekil 4.123.</b> 9. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	113
<b>Şekil 4.124.</b> 10. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	113
<b>Şekil 4.125.</b> 11. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	114
<b>Şekil 4.126.</b> 12. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	114



<b>Şekil 4.127.</b> 13. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	115
<b>Şekil 4.128.</b> 14. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	115
<b>Şekil 4.129.</b> 15. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	116
<b>Şekil 4.130.</b> 15a. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	116
<b>Şekil 4.131.</b> 16. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	117
<b>Şekil 4.132.</b> 17. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi.....	117
<b>Şekil 4.133.</b> Yaz mevsimi WQI değerleri.....	118
<b>Şekil 4.134.</b> Sonbahar mevsimi WQI değerleri.....	118
<b>Şekil 4.135.</b> Kış mevsimi WQI değerleri .....	118
<b>Şekil 4.136.</b> İlbarhar mevsimi WQI değerleri.....	119
<b>Şekil 4.137.</b> Porsuk Baraj Gölü toplam P seviyeleri .....	120
<b>Şekil 4.138.</b> Porsuk Baraj Gölü toplam N seviyeleri.....	120
<b>Şekil 4.139.</b> Porsuk Baraj Gölü klorofil-a seviyeleri.....	120
<b>Şekil 4.140.</b> Porsuk Baraj Gölü seki diski seviyeleri .....	121
<b>Şekil 4.141.</b> Porsuk Baraj Gölü çözünmüş oksijen seviyeleri .....	121

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
EMS	: En Muhtemel Sayı
L	: Litre
m	: Metre
mg	: Miligram
NSF-WQI.	: Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi
TN	: Toplam Azot
TP	: Toplam Fosfor

## 1. GİRİŞ

Su, canlı organizmaların yapısına girmesi, metabolik olaylar için başta gelen bir hayat maddesi özelliğinde olması ve sucul organizmalar için yaşama ortamı oluşturması nedeniyle daima insanoğlunun dikkatini çekmiştir. Okyanuslar, tortul kayaçlar ve buzullar yeryüzündeki toplam suyun % 98'ini oluşturmakla birlikte tatlı su kaynakları yeryüzünde %2'nin altında kalmaktadır (Gürel, 2011).

İnsanların ihtiyacı olan suyu temin etmek için yapılacak çalışmalar su ihtiyacının belirlenmesi ve kaynak seçimi ile başlamaktadır. Suyun kalitesi, miktarı ve temini için gereken maliyet su kaynağının seçiminde göz önünde bulundurulması gereken üç ana faktörü oluşturmaktadır. Su ihtiyacını karşılamak için seçilecek kaynağın yeterli su miktarına sahip olması ve su kalitesinin kabul edilebilir durumda olması gerekir. Genellikle civarda bulunan akarsu ve göllerin kaynak olarak seçilmesiyle birlikte bu kaynaklar istenilen miktarda suya sahip olmakla beraber su kalitesi yönünden doğrudan kullanılabilir durumda olmayabilmektedir. Su temini için diğer kaynaklar, kuyu ve menba sularıdır. Bu kaynakların suları da çok iyi kalitede olmalarına rağmen, çoğu zaman miktar bakımından yeterli olamamaktadır. Bunun nedenle büyük şehirlerin su ihtiyacı genel olarak yüzeysel sulardan temin edilmektedir (Yetgin, 2009).

Göller balıkçılık, taşıma, tarım, endüstri, rekreasyon ve turizm amaçlı kullanılan önemli su kaynaklarıdır. Günümüz şartlarında, dünyadaki çok sayıda gölün su kalitesi, doğal yollarla arıtılması mümkün olmayacak şekilde kötü durumdadır (Cüce, 2012). Göllerin bulunduğu alan, enlem derecesi, iklim özellikleri ve beslendiği kaynaklar gölün kalitesini etkilemektedir. Göl ekosistemleri, insan kaynaklı kirleticiler ile nitrat, fosfat, çözülmüş oksijen, pH, sıcaklık, tuzluluk, bulanıklılık gibi fizikokimyasal faktörlerde meydana gelen değişimlerden etkilenmektedir (Özhan, 2007).

Evsel, endüstriyel ve tarımsal aktivitelerden kaynaklanan kirleticiler, göllerde ötrofikasyona neden olmaktadır. Aşırı nutrient miktarına bağlı olarak azot ve fosfor yüzeysel sularda ortaya çıkan olumsuz etkilere ve ötrofikasyona neden olmaktadır. Göllerde aşırı azot ve fosfor artışı ile meydana gelen ötrofikasyon, su kalitesinin bozulmasına ve biyoçeşitliliğin önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır (Varol, 2013).

Bir gölün ötrofikasyon durumunun belirlenmesi o gölün trofik seviyesinin belirlenmesi ile gerçekleşmektedir. Göllerin suyunun azot ve fosfor gibi elementlerle beslenerek zenginleşmesi ve kalitesinin bozulması olayına ötrofikasyon adı verilmektedir (Yetgin, 2009). Ötrofikasyon olayına neden olan temel maddeleri azot ve fosfordur. Bunun yanında oligo-elementler, (bor, bakır, molibden, demir, potasyum vb.) silis ve bazı vitaminler de ötrafikasyonda rol oynamaktadır. Göllere ve su kanallarına gelen kirleticilerin çoğu evsel atıklardan, kanalizasyon sularından, yüzey akış sularından, metamorfik kayalardan ve tarımsal üretim yapan çiftliklerden kaynaklanmaktadır. Evsel ve endüstriyel atıklar, deterjanlar, tarımsal uygulamalardaki atıklar ötrofikasyonun oluşmasında önemli faktörlerdir (Yağcı, 2010).

Bir gölün trofik seviyesinin belirlenmesinde fiziksel ve kimyasal parametreler göz önünde bulundurulmaktadır. Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği'nde belirtilen göl, gölet ve baraj göllerinde trofik seviyeyi belirlenmesi için beş ana parametre arasındaki ilişki değerlendirilmektedir. Bu parametreler; çözünmüş oksijen, seki diski derinliği, toplam fosfor, toplam azot ve klorofil-a seviyeleridir (YSKY, 2016). Seki diski derinliği, göl sularında geçirgenliğin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Genellikle besin düzeyindeki artış geçirgenliği etkilemekle birlikte, suyun rengi ve askıda katı madde miktarı da geçirgenliği etkileyen diğer parametrelerdendir. Seki derinliği, su çevresinden beyaz diskin ayırt edilemediği ya da siyah ve beyaz bir diskin siyah-beyaz çeyreklerinin disk su içine indirildiğinde birbirinden ayırt edilemediği derinlik olarak ifade edilmektedir. Toplam fosfor alg gelişimi için sınırlayıcı faktör olarak nitelendirilmektedir. Toplam fosfor miktarı göldeki ötrofikasyon ve üretkenlik düzeyini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Göl sistemlerinin trofik yapısı ve trofik gelişimi göldeki fosfor içeriğinden etkilenmektedir. Seki derinliği en düşük olduğunda toplam fosfor en yüksek miktarda bulunmaktadır. Fosfordan sonra azot bütün besin maddeleri içinde en önemli madde olarak büyümeyi sınırlayıcı faktör olarak rol oynamaktadır. Bir gölün toplam azot miktarı yüksek ise o gölün ötrofik hale gelme ihtimali oldukça yüksektir. Gölün kalitesi ve ötrofikasyon durumunun belirlenmesini sağlayan indikatörlerden biri klorofil-a konsantrasyonudur. Yüksek klorofil-a konsantrasyonları suda aşırı besinlerden oluşan yüksek planktonik alg yoğunluğu olduğunu göstermektedir. Bu durumda, suyun rengi azalmakta, suda yeşil görünüm oluşmakta, yüzeyde köpüklenme gerçekleşebilmekte, çözünmüş oksijen seviyesini azalabilmekte,

pH seviyesini değişebilmekte ve hoş olmayan tat ve koku oluşabilmektedir (Cüce, 2012).

Su kalitesi, belirli kullanımlar ile ilgili su kütlesi veya su kaynağının durumunu göstermektedir. Su kalitesi incelenirken fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler dikkate alınmaktadır. Genel olarak su kalitesi bu parametrelerin bir ya da bir kaçının kabul edilen sınırlar içerisinde birbirleri ile olan ilişkisini oluşturmaktadır. Bu parametrelerin birbirleri ile olan ilişkileri incelenirken parametrelerin farklı birimlerde olması bazı zorluklara neden olmasından yola çıkılarak su kalite indeksleri oluşturulmuştur. Su kalite indeksi birimleri birbiriyle eşit olmayan bilimsel verileri sentezleyerek sıfır ile yüz arasında değişen sayılara çevirmektedir (Hepsağ, 2003). Kritik derecede kirli olduğu düşünölen sulara uygulanan su kalite indeks yöntemlerinden NSFQI (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi) yöntemine göre, hesaplamalar sonucu elde edilen değerlerden su kalitesinin derecelendirmesi sıfır ile yüz arasında değişen su kalite indeksi değerleri ile çok iyi, iyi, orta, kötü ve çok kötü olarak tanımlanmıştır (Bonanno ve Giudice, 2010; CCME, 2001; Tyagi ve ark., 2013).

Porsuk Çayı havzası, kuzeybatı Anadolu'da 11188 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Doğu-batı doğrultusunda 202 km, kuzey-güney doğrultusunda 135 km'dir. Porsuk Çayı Kütahya'nın Tokul köyü yakınından doğmakta, doğu yönüne 453.8 km'lik akış uzunluğu ile deniz seviyesinden yaklaşık 600 m yükseklikte Sakarya Nehri ile birleşmektedir (Egemen, 1999). Porsuk Çayı Havzasında iki büyük yerleşim merkezi Eskişehir ve Kütahya illeri ve bu illere bağlı 7 ilçe merkezi bulunmaktadır (İyigün ve Koçbuğ, 2003; Orak, 2006). Nehir su kalitesi oldukça düşük olup hem nehir hem de havza endüstriyel, tarımsal ve kentsel kirletici kaynaklardan dolayı ciddi tehdit altında bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Porsuk Çayı'ndan alınan su örneklerinde yapılan analizler ile Porsuk Çayı'nın su kalite indeksine göre kalite sınıflarının belirlenmesi ve Porsuk Baraj Gölü'nün trofik seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. SU KALİTESİ

Canlıların yaşamlarını sürdürebilmesi için için büyük önem taşıyan su, dünya üzerinde doğal olarak bulunan en yaygın kaynaktır. Yeryüzünün %75'i, insan vücudunun % 70'i, kanın yaklaşık % 78'i sudan oluşmaktadır. Yeryüzündeki toplam suyun %98'i okyanuslar, tortul kayalar ve buzullarda bulunmakla birlikte, tatlı su kaynaklarında bu oran %2'nin bile altında yer almaktadır. Canlıların yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek için önem taşıyan su kaynakları sonsuz olmamakla birlikte günümüz olanakları göz önüne alındığında kullanılabilen su miktarının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. İnsanların yaşam alanları, yaşam tarzları, yerleşim yerleri, geçinme şekilleri, savaşları gibi pek çok alışkanlığı ve pek çok olayı belirleyen temel unsurlardan biri yıllar boyunca su olmuştur. İçme, endüstri ve tarım için kullanılan suyun bulunabilirliği, insanların hayatta kalması ve refahı, genellikle suyun sürekliliği ve kontrolüne bağlıdır (Gürel, 2011).

Su kaynakları birçok canlı türünün içinde barındıran, belirli topluluklar ve yaşamsal habitatlar içeren ekosistemlerdir. Bu kompleks yapının ortaya çıkışında su sıcaklığı, iletkenlik, tuzluluk, toplam çözünmüş katı madde, pH, alkalinite, sertlik, nutrientler, metaller, mikrobiyolojik ölçekteki tüm canlılar, tüm flora ve fauna gibi fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri ön planda bulunmaktadır. Bu faktörlerin tümünün diğer faktörlerle etkileşimleri olmakla beraber su kaynaklarını oluşturan ve devamlı olarak besleyen karasal yağış havzasının da jeolojik, jeofiziksel ve antropojenik özellikleri su havzasının su kalitesinin belirli yapıda oluşmasında önemli bir rol oynamaktadır. Tüm bu fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin birlikte oluşturdukları yapı genel olarak ekosistem olarak adlandırılırken sucul ortamın genel karakterini açıklayan fiziko-kimyasal su ortamı ve biyolojik yaşamı emsiledebilecek tüm faktörler de su kalitesi kavramını oluşturmaktadır. Ekosistem olarak adlandırılan bu yapının erozyon, sel, ötrofikasyon ve deprem gibi doğal süreçler ve antropojenik etkilerle (evsel, tarımsal ve endüstriyel atıklar) bozularak su kalitesi problemleri oluşabilmektedir (Serdar, 2015).

Kısacası yeryüzünün önemli bir kısmını oluşturan suyun; katı, sıvı ve gaz halinde bulunarak güneşin sağlamış olduğu enerji ile devamlı bir döngü içerisinde olduğu bilinmektedir. Bu döngü içerisinde canlılar suyu yaşamsal faaliyetleri ve diğer

aktiviteleri için kullandıktan sonra tekrar döngü içerisine bırakılmaktadırlar. Bu döngü sırasında suyun yapısına karışan çeşitli maddeler fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek su kirliliğine neden olmaktadır (Çoban, 2007).

Su kirliliği “insan etkisi sonucu ortaya çıkan ve suyun kullanımını kısıtlayan veya tamamen engelleyen ekolojik dengeleri bozan kalite değişimleri” olarak tanımlanabilmektedir. Kirleticilerin su kütlelerinde birikmesi fiziksel ve biyolojik kirlenme olarak ele alınabilmektedir. Fiziksel kirlenme, sularda meydana gelen buharlaşma sonucunda su kütlelerinde meydana gelen kirletici seviyelerindeki artış olarak nitelendirilebilir. Biyolojik kirlenme ise, sularda patojenik bakteri, mantar, alg, patojenik protozoa vb. bulunması nedeniyle meydana gelen kirlilik olarak tanımlanabilir (Dişli, 2002).

Su kaynaklarını kirletici kaynakları noktasal ve yayılı kaynaklar olarak iki şekilde gruplandırabilmekteyiz. Noktasal kaynaklar, su kaynağına kirleticinin nerenden verildiğinin bilindiği ve kontrolünün mümkün olduğu kaynaklardır. Evsel ve endüstriyel deşarjlar noktasal kaynaklara örnek olarak gösterilebilir. Yayılı kaynaklar ise, su ortamına kirleticinin nerenden geldiğinin belli olmadığı kontrolü çok zor olan kaynaklardır. Yayılı kaynaklara; tarımsal kaynaklı sular, yüzeysel akışla gelen yağmur suları, sızıntı suları vb. gibi birçok örnek verilebilmektedir (Hepsağ, 2003).

Dünyada giderek suya olan ihtiyacın artması ile su kaynaklarının bilimsel yöntemlerle analizleri de büyük önem kazanmaya başlamıştır. Bu amaç doğrultusunda, su kaynaklarının zaman zaman incelenerek kirlenmenin oluşup oluşmadığının araştırılması doğal su kaynaklarının geleceği yönünden zorunlu hale gelmiştir. En önemli su kaynaklarından olan nehirler, aynı zamanda kolay bir atık su deşarj yeri olmuştur. Evsel ve endüstriyel kirlenmeler sonucu nehirler giderek insan yaşamını tehdit eden bir görünüme ulaşmışlardır. Bu nedenle nehirlerde su kalitesinin korunması ve izlenmesi konusu büyük bir önem kazanmaktadır (Sümer ve ark., 2001).

Yüzeysel suların yönetiminde, son yıllarda üzerinde önemle durulmaya başlanan konu su kalitesinin belirlenmesidir. Su kalitesinin etkisi incelendiğinde öncelikle kirlilik nedeniyle kullanılmayan su kaynakları, yararlanılabilecek yüzeysel su miktarını kısıtlı hale getirdiği, daha sonra da su kirliliği çevreye, tüm canlı hayatına ve insan sağlığına olumsuz etki yarattığı gözlemlenmektedir. Su kalitesi çalışmaları çerçevesinde, noktasal

ve noktasal olmayan kirletici kaynaklar açısından arıtma konusu ağırlık kazanmıştır. Yapılan tüm bu çalışmaların sonuçlarını izlemek ve yüzeysel su kaynaklarının kalitesinde doğal veya insan müdahalesine dayanan etkenlerle oluşabilecek değişiklikleri izlemek amacıyla su kalitesi gözlem çalışmaları başlatılmıştır (Üstüner, 2012).

Su kirliliğinin önlenmesinde, suyun kalitesinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Su kalite sınıflarının belirlenmesi ise su kalitesi kriterleri ile yapılmaktadır. Kalite kriterleri tamamen kullanıma özgü olarak ve bilimsel verilerden hareketle elde edilmektedir. Potansiyel tehlikeli su bileşenleri ve içme suyu kalitesinin değerlendirilmesinde bir baz oluşturmak üzere düzenlenmiş olup kalite standartları bu kriterler esas alınarak her bölgenin ve ülkenin koşullarına uygun olarak belirlenmektedir (Gürel, 2011).

Su kalitesinin değerlendirilmesinde çevresel şartlar, bugünkü ve gelecekteki kullanım amaçları ve mevcut yasalar dikkate alınmaktadır. Su kalitesinin değerlendirmesi yapılırken suyun bulunduğu bölgenin mevcut durumu, su kaynağı ile ilgili yapılan öncelikli araştırmalar, kirleticilerin izlenme düzeni, arazi çalışmaları, hidrolojik izleme, laboratuvar analizleri, veri kalitesinin kontrolü ve yorumlanması ve su kalitesi yönetimi önerileri dikkate alınacak önemli adımları oluşturmaktadır (Hepsağ, 2003).

Su kaynaklarının kalite kriterlerine göre sınıflandırılması standartlar kullanılarak yapılmaktadır. Standartlar, yararlı bir kullanım için parametrelerin olması gereken değerler olarak tanımlanabilir. Bir su kalitesi standardı, su kaynağının kullanım amacını tanımlar, kaynağın kalitesinin bozulmaması için hedef kriterler tanımlar, kullanım amaçlarını korur ve mevcut kalitenin bozulmaması için gerekenlerin yapılmasını sağlamaktadır. Standartların yararları incelendiğinde, su kalitesinin bozulması halinde neden ve kaynağının bulunmasını sağladığı, su kalitesinin kontrolünde uygulaması kolay bir mekanizma oluşturduğu, herhangi bir su ortamına deşarj yapan kişi ve kuruluşların kendi kendini kontrol edebilmesini sağladığı görülmektedir (Chapman, 1992).

Suların kalitelerine göre sınıflara ayrılmasının nedeni, kullanım amacının belirlenmesidir. Kıta içi yüzeysel sular için yapılan sınıflama aşağıdaki şekilde



olmaktadır (YSKY, 2016).

- Sınıf I: Yüksek Kaliteli Su (yalnız dezenfeksiyon ile içme suyu temini, rekreasyonel amaçlar, alabalık üretimi, hayvan üretimi ve çiftlik ihtiyacı ve diğer amaçlar).
- Sınıf II: Az Kirlenmiş Su (ileri veya uygun arıtma ile içme suyu temini, rekreasyonel amaçlar, alabalık dışında balık üretimi, Teknik Usuller Tebliğinde verilmiş olan sulama suyu kriterlerini sağlamak şartıyla sulama suyu olarak, sınıf I dışındaki diğer bütün kullanımlar).
- Sınıf III: Kirlenmiş Su (Gıda, tekstil gibi kaliteli su gerektiren endüstriler hariç olmak üzere uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su temininde kullanılabilir).
- Sınıf IV: Çok Kirlenmiş Su Her hangi bir su kaynağının bu sınıflardan birine dahil edilebilmesi için bütün parametre değerleri o sınıf için verilen parametre değerleriyle uyum halinde olmalıdır (YSKY, 2016).

## 2.1. Su Kalite İndeksi

Bir su kütlesinin kalitesinin değerlendirilmesi, amaçların belirlenmesi, parametrelerin seçilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi gibi üç temel aşamadan oluşmaktadır. Amaçların belirlenmesi, değerlendirme yaklaşımını ve perspektifini açıklayan kılavuzlar ile olmaktadır. Amaçlar belirlendikten sonra, su kütlesi fiziksel ve biyolojik şartları açıklayan yüzlerce bileşen ve parametreyi içerebilecekken kütlenin tamamını temsil edebilecek tutarlı bir parametre seti seçilmelidir. Değerlendirme aşaması ise her bir parametre suyun farklı yönlerini gösterebileceği için karmaşık olabilmektedir. Su kalite indekslerinin öncelikli amacı, fazla miktardaki su kalite verilerinin su kalitesini temsil eden tek bir sayıya dönüşmesini sağlayarak su kalitesinin değerlendirilmesi aşamalarını basitleştirmek ve netleştirmektir. Elde edilen bu tek sayı, çok fazla sayısal bilgi içeren parametre listelerine göre bilgilerin daha kolay ve hızlı anlaşılmasını sağlamaktadır (Taner, 2007).

Su kalitesi için birden fazla değişkeni kullanmak yerine tek bir veri kullanmak yeni ortaya çıkmış bir fikir değildir. Su kalite indekslerinin ilk ilkel biçimi 150 yıldan daha da önce Almanya'da bir su kaynağının uygunluk göstergesi olarak sudaki bazı organizmaların varlığının ya da yokluğunun belirlenmesiyle oluşmuştur. Ancak,

indekslerin gerçek formları 1960'lı yılların sonlarına kadar kullanılmamıştır. İlk su kalite indeksleri Horton (1965) ve Brown ve ark. (1970) tarafından önerilmiştir (Taner, 2007).

Horton(1965) indeksi oluştururken kendisine, indeks tarafından işlenecek değişken sayısı, indeksin kullanışsız hale gelmesini engellemek için sınırlandırılmalar, değişkenlerin çoğu alan için önemli olması ve yalnızca ulaşılabilir, geçerli ve güvenilir verilerin dahil edilmesi gibi kriterler koymuştur. Çözünmüş oksijen, pH, koliform, iletkenlik, alkalinite ve klorür gibi su kalitesinin belirlenmesinde en çok kullanılan on değişkeni seçmiştir. İndeks ağırlığı 1 ile 4 arasında değişmektedir. Horton tarafından oluşturulan indekste herhangi bir zehirli kimyasal bulunmamaktadır. Horton'un öncü girişimlerini takip eden birkaç kişi tarafından daha az öznel fakat daha hassas ve kullanışlı su kalite indeksleri geliştirilmiştir (Abbasi ve Abbasi, 2012).

Brown ve ark. (1970) yapısal olarak Horton indeksine benzer bir su kalite indeksi geliştirdi fakat Delphic egzersizleri kullanılarak ortak bir ölçek geliştirilerek ve ağırlıklar saptanarak parametrelerin seçiminde daha titizlikle davranıldı. Gerçekleştirilen bu çalışma Ulusal Sanitasyon Vakfı tarafından desteklendi ve bu nedenle Brown indeksi aynı zamanda Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi olarak adlandırılmaktadır (Abbasi ve Abbasi, 2012).

Çalışma için su kalitesi yönetiminde uzmanlaşmış 142 kişilik bir panel kurularak, panelistlerden indekste yer alması olası olan 35 parametre üzerinde düşünceleri istenmiştir. Her parametre için "dahil edilmesin", "kararsız" ve "dahil edilsin" seçenekleri yer alarak, panelistlerden genel kaliteye katkıda bulunan parametrelerin önemlerine göre "dahil edilsin" olarak işaretlenerek sıralanması istenmiştir. Derecelendirme, 1 (en yüksek) ve 5 (en düşük) olarak yapılmıştır. Son olarak panelistlerden parametrelerden en önemli olarak gördükleri ve seçtiklerinin 15'ten fazla olmaması istenmiştir. Panelistlerin ortalama derecelendirmesiyle belirlenen önem derecesine göre azalan düzende hazırlanmış 11 parametre belirlenerek her üyeye sunulmuştur (Çizelge 2.1) (Abbasi ve Abbasi, 2012).

**Çizelge 2.1.** Önem sırasına göre seçilen parametrelerin listesi (Abbasi ve Abbasi, 2012).

Parametreler	Önem Sırası
Çözünmüş Oksijen	1
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı	2
Bulanıklık	3
Toplam Katılar	4
Nitrat	5
Fosfat	6
pH	7
Sıcaklık	8
Fekal Koliform	9
Pestisit	10
Toksik Elementler	11

Panelistlerden, seçilen parametrelerin farklı derişimlerindeki su kalite seviyesindeki değişimler için değerler atanması istenmiştir. Her parametrenin derişim-değer ilişkisi bir grafik formunda oluşturulmuştur. Bu grafikler her bir parametrenin muhtemel ölçümlerinin su kalitesi seviyesindeki değişimi en iyi temsil eden eğrileri göstermek için oluşturulmuştur. Her bir parametrenin birer eğri setini üretmek için tüm katılımcıların kararı üzerine ortalaması alınmıştır. Pestisit ve toksik elementler için derişimin 0,1 mg/l'yi aşması durumunda su kalite indeksinin otomatik olarak sıfır değeri verdiği belirlenmiş ve bunlar dışında kalan 9 parametre dikkate alınmıştır. Panelistlerden nihai olarak seçilen parametreler için 1 (en yüksek) ve 5 (en düşük) ölçeğini kullanarak ortalama su kalitesini karşılaştırmaları istenmiştir. Değerlendirmeyi ağırlıklara dönüştürmek için en yüksek anlamlılık derecesi alan parametreye “1.0” olarak geçici bir ağırlık verilmiştir. Diğer tüm geçici ağırlıklar, en yüksek derecenin bireysel ortalama derecesine bölünmesi ile elde edilmiştir. Son ağırlığa ulaşmak için, her geçici ağırlık tüm geçici ağırlıkların toplamına bölünmektedir. Seçilen parametrelerin ortalama dereceleri, geçici ağırlıkları ve nihai ağırlıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir (Abbasi ve Abbasi, 2012).

**Çizelge 2.2.** *NFS-WQI’da bulunan parametrelerin önem dereceleri ve ağırlıkları*

Parametreler	Ortalama Dereceleri	Geçici Ağırlık Faktörü	Ağırlık Faktörü
Çözünmüş Oksijen	1.4	1.0	0.17
Fekal Koliform	1.5	0.9	0.16
pH	2.1	0.7	0.11
BOİ (5-gün)	2.3	0.6	0.11
Nitrat	2.4	0.6	0.10
Fosfat	2.4	0.6	0.10
Sıcaklık	2.4	0.6	0.10
Bulanıklık	2.9	0.5	0.08
Toplam Katı Madde	3.2	0.4	0.07
Toplam			1.00

Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi için matematiksel ifade aşağıda verilmiştir:

$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’de;  $Q_i$ ,  $i$  numaralı su kalite parametresi için ölçüm değerine karşılık gelen değeri,  $W_i$ ,  $i$  numaralı su kalite parametresinin ağırlık faktörünü,  $n$ , su kalite parametresi sayısını göstermektedir (Ray ve ark., 2015).

NSF-WQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları Çizelge 2.3’te verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** *NSF-WQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları (Taner, 2007)*

WQI Değerleri	Kalite Sınıfı
91-100	Mükemmel
71-90	İyi
51-70	Orta
26-50	Kirli
0-25	Çok Kirli

Amerika’nın bazı eyaletlerinde, Kanada ve Malezya’da su kalitesi bölümlerine yardımcı olmak için geliştirilmiş bir kaç su kalite indeksi bulunmaktadır. Bu kalite indekslerinin çoğu ABD Ulusal Sanitasyon Vakfı tarafından geliştirilen (NSF-WQI) su kalite indeksine dayanmaktadır. Kanada Su Kalite İndeksi hem yönetime hem de halka su kalite bilgilerini iletmek için Kanada kanunları tarafından formüle edilmiş bir

yöntemdir. Bu indekste, su kalite değişkenlerinin örneklendirme sıklığı, başarısız değişkenlerin sıklığı ve standartlarda verilen hedef değerlerden sapmalara göre değerlendirme yapılmaktadır. İndeks, parametrelerin konuma göre değişmesi ve çevre şartlarına bağlı olması nedeni ile herhangi bir su kalite parametresi ya da zaman kavramı tanımlanamamaktadır. İndeksin hesaplanması için en az dört parametre ve bu parametrelerin en az dört ölçümü gerekmektedir. İndeks, eşitlik 2.2’de gösterildiği gibi, 0 ile 100 arasında değişen ölçekte üç faktörden oluşmakta ve bu üç faktörün birleştirilmesi ile su kalitesini zayıftan yükseğe doğru tanımlayan 0 ile 100 arasında olan tek bir sayı elde edilmektedir (Dede ve Sezer, 2016).

$$CWQI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \quad (2.2)$$

Eşitlik 2.3’de  $F_1$  kapsam olarak adlandırılan birinci faktördür. Standartlarda verilen sınır değerleri aşan parametrelerin toplam parametrelere göre yüzdesini ifade etmektedir.

$$F_1 = \frac{\text{Başarısız Parametrelerin Sayısı}}{\text{Toplam Parametre Sayısı}} \times 100 \quad (2.3)$$

$F_2$ , frekans olarak adlandırılan ikinci faktördür. Deneyler süresi boyunca yapılan toplam deney sayısına göre başarısız deneylerin yüzdesini ifade etmektedir (Eşitlik 2.4).

$$F_2 = \frac{\text{Başarısız Deneylerin Sayısı}}{\text{Toplam Deney Sayısı}} \times 100 \quad (2.4)$$

$F_3$ , genişlik olarak adlandırılan üçüncü faktördür. Standartlarda verilen sınır değerleri aşan başarısız deney değerlerinin sayısını ifade etmekte ve üç aşamada hesaplanmaktadır.

- Sapma (değişken değerinin sınır değeri karşılamadığı deney sayısı) hesaplanmaktadır.
  - Değişken değerinin sınır değerden fazla olamayacağı durumlar için;

$$Sapma_i = \left( \frac{\text{Başarısız deney değeri}_i}{\text{Hedef değeri}_i} \right) - 1 \quad (2.5)$$

- Değişken değerinin sınır değerden az olamayacağı durumlar için;

$$Sapma_i = \left( \frac{Hedef\ de\ger_i}{Ba\şarısız\ deney\ de\ger_i} \right) - 1 \quad (2.6)$$

- Hedef değerin sıfır olduğu durumlar için;

$$Sapma_i = Ba\şarısız\ deney\ de\ger_i$$

- Bundan sonra birinci basamakta elde edilen sapmaların toplamının deney sayısına oranı belirlenmekte ve bu oran normalleştirilmiş sapmalar toplamı (nse) olarak adlandırılmaktadır.

$$nse = \frac{\sum_i^n sapma_i}{Toplam\ Deney\ Sayısı} \quad (2.7)$$

- Son aşamada nse değerlerinin sınır değerlerden 0 ile 100 aralığına ölçeklendirilerek F<sub>3</sub> değeri hesaplanmaktadır.

$$F_3 = \left( \frac{nse}{0.01nse + 0.01} \right) \quad (2.8)$$

**Çizelge 2.4.** CWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları (Dede ve Sezer, 2006)

WQI Değerleri	Kalite Sınıfı
95-100	Mükemmel
80-90,4	İyi
65-79,9	Orta
45-64,9	Zayıf
0-44,9	Kötü

Oregon Su Kalite İndeksi, suyun genel kalitesini değerlendirmek için sekiz su kalitesi değişkenini kullanarak tek bir sayıda birleştirilerek oluşturulmaktadır. Bu yöntem için kullanılan parametreler, sıcaklık, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, pH, amonyum ve nitrat azotu, toplam fosfor, toplam katılar ve fekal koliformdur. Orijinal Oregon su kalite indeksi değişken seçimi için Delphi yöntemini kullanarak Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksinden sonra tasarlanmıştır. İndeks, parametrelerin ağırlıklandırılmasında uzlaşmadan muafır ve harmonik ortalama kavramını kullanmaktadır.

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}} \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9'da; n, alt indislerin sayısını ve SI, i'nci parametrenin alt indisini göstermektedir.

**Çizelge 2.5.** OWQI yöntemi için su kalitesi değerleri ve kalite sınıfları (Tyagi ve ark., 2013)

WQI Değerleri	Kalite Sınıfı
90-100	Mükemmel
85-89	İyi
80-84	Orta
60-79	Zayıf
0-59	Çok Zayıf

Ulusal Sanitasyon Vakfı, Kanada ve Oregon su kalite indekslerinin bazı avantaj ve dezavantajları Tablo 2.6'da verilmiştir.

**Çizelge 2.6.** Su kalite indekslerinin avantaj ve dezavantajları (Tyagi ve ark., 2013)

Avantaj	Dezavantaj
<b>Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi (NSFWQI)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verileri nesnel, hızlı ve tekrarlanabilir şekilde tek bir indeks değerinde özetlenir.</li> <li>• Alanlar arasında değerlendirme ve su kalitesindeki değişikliklerin belirlenmesi.</li> <li>• İndeks değerleri potansiyel su kullanımı ile ilgilidir.</li> <li>• Su kalitesi ile ilgili bilgisi olmayan kişiler dahi fikir sahibi olabilir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Genel su kalitesini temsil etmekte, suyun özel kullanımını temsil etmemektedir.</li> <li>• Veri kullanma sırasında veri kaybı olabilir.</li> <li>• Kompleks çevresel konularda belirsizlik ve öznelliğe ilişkin eksiklikler mevcuttur.</li> </ul>

**Çizelge 2.6 (Devam).** *Su kalite indekslerinin avantaj ve dezavantajları (Tyagi ve ark., 2013)*

<b>Kanada Su Kalite İndeksi (CWQI)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Değişkenlerin ölçümünü tek bir sayı temsil etmektedir.</li> <li>• Giriş parametrelerinin ve hedeflerin seçiminde esneklik.</li> <li>• Farklı yasal gerekliliklere ve farklı su kullanımlarına uyarlama.</li> <li>• Yöneticiler ve genel halk için açık ve anlaşılır tespit ortaya koyar.</li> <li>• Belirli yerler için su kalitesinin değerlendirilmesi için uygun bir araçtır.</li> <li>• Hesaplaması kolaydır.</li> <li>• Kayıp veriler için toleranslıdır.</li> <li>• Otomatik örneklemeden gelen verilerin analizi için uygundur.</li> <li>• Çeşitli ölçüm birimlerindeki ölçümleri tek bir metrikte birleştirir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tekil değişkenlerde bilgi kaybı.</li> <li>• Spesifik lokasyon ve su kullanımına özgü hedefler hakkında bilgi kaybı.</li> <li>• Sonuçların indeks formülasyonuna hassaslığı.</li> <li>• Değişkenler arasındaki etkileşimlerde bilgi kaybı.</li> <li>• İndeksin farklı ekosistem türlerine taşınabilirliğinin olmaması.</li> <li>• Kolay oynama yapılabilir (önyargılı)</li> <li>• Tüm değişkenlere aynı derecede önem verilmektedir.</li> <li>• Diğer indikatörler veya biyolojik verilerle kombinasyon yoktur.</li> <li>• Su kalitesinin sadece kısmı tespiti yapılır.</li> <li>• Çok az değişken düşünüldüğünde veya aralarında çok fazla kovaryans var ise <math>F_1</math> uygun şekilde çalışmamaktadır.</li> </ul>
<b>Oregon Su Kalite İndeksi (OWQI)</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alt indeksleri birleştirmek için kullanılan ağırlıksız harmonik karesel ortalama formülü en fazla etkilenen parametrenin su kalitesi indeksine en büyük etkiyi vermesini sağlamaktadır.</li> <li>• Metot farklı su kalite parametrelerinin her su için farklı önem taşıyacağını kabul etmektedir.</li> <li>• Formül değişen koşullara ve su kalitesinde önemli etkilere karşı hassastır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toksik madde konsantrasyonları, yaşam alanları ve biyolojik değişiklikleri dikkate almaz.</li> <li>• Su kalitesi koşullarının çıkarımlarını yapmak gerçek ortam ağı konumları dışında mümkün değildir.</li> <li>• Belirli bir su kalitesinin belirlenip belirlenmemesinde, uygun fiziksel, kimyasal ve biyolojik verileri dikkate almadan su kalitesi ile ilgili kesin bilgi almak için kullanılabilir veya kullanılmaz.</li> </ul>

Çalışma kapsamında, NSFQI yönteminde kullanılan parametrelerden sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), nitrat, fosfat, bulanıklık ve fekal koliform verileri kullanılmıştır.

### 2.1.1. Sıcaklık

Sıcaklık yüzeysel suların kalitesi açısından önemli bir değişkendir. Su sıcaklığındaki değişimler fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri etkilemektedir (Ezer, 2009). Kısacası sıcaklık değişimi suda yaşayan canlılar için kolayca adapte olamayacağı bir durumdur. Sıcaklık ile su içerisindeki çözülmüş oksijen arasında ters bir orantı vardır. Sulardaki sıcaklığın artması ile oksijen oranı azaldığı için o yaşayan canlılar olumsuz biçimde etkilenmektedir. Bu etki hem gazın çözünürlüğünden hem de organik maddelerin bozulmasının hızlanmasından kaynaklanmaktadır. Organik maddelerin

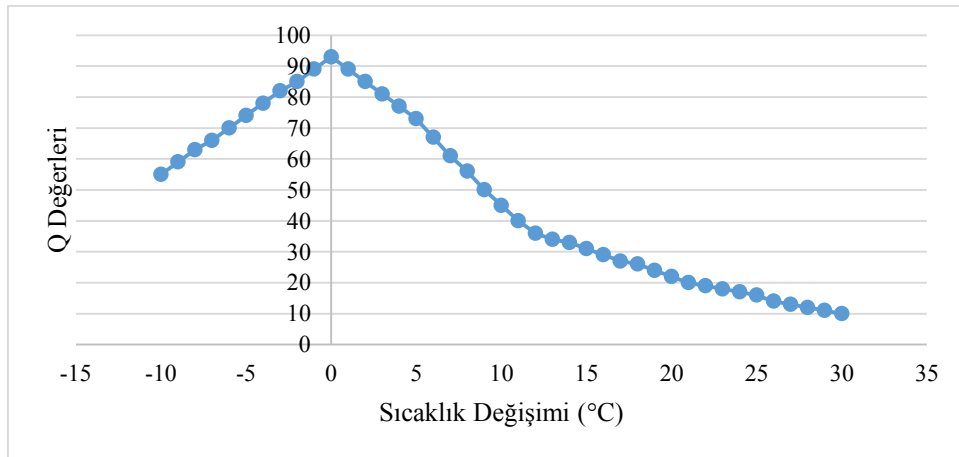


bozulmasının hızlanması ile de oksijenli solunum yapan bakterilerin yaz dönemlerinde daha fazla oksijen almaları gerekeceği için organik bir kirlenme ortaya çıkacaktır (Şimşek, 2011).

Yaz mevsiminde göllerde sıcaklığın derinlikle değişimi gerçekleşmektedir. Bu değişim sonucunda göllerde tabakalaşma meydana gelebilmektedir. Su sıcaklığındaki artış ile birlikte kimyasal reaksiyonların hızı ve sudaki maddelerin buharlaşmasında da artış oluşmaktadır. Su sıcaklığının artması  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $CH_4$  gibi gazların suda çözünürlüğünü azaltmaktadır. Sıcaklığın yüksek olduğu sularda organizmaların solunum hızı artarak oksijen tüketimi arttırmakta ve bu da organik maddelerin bozunmasına neden olmaktadır. Koşullar uygun olduğunda, bakterilerin kısa sürede hızla artması ve fitoplanktonlar suyun bulanıklığının artmasına neden olmaktadır (DSİ, 2001).

Gülle ve ark. (2008) Burdur Gölü'nde yaptıkları çalışmada, Aralık 2003 – Kasım 2004 tarihleri arasında aylık olarak yüzeyden 30 m derinliğe kadar göl suyunun pH, sıcaklık, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik ve tuzluluk değişimlerini ölçmüşlerdir. Ilık tipteki gölün epilimnion sıcaklığı mevsimsel olarak 6-25,3 °C arasında değişmesine rağmen hipolimnion sıcaklığının yıl boyunca 6-8 °C arasında sabit olduğu gözlenmiştir.

Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile sıcaklık değişimi grafiği Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Sıcaklık değişimi için Q değerleri

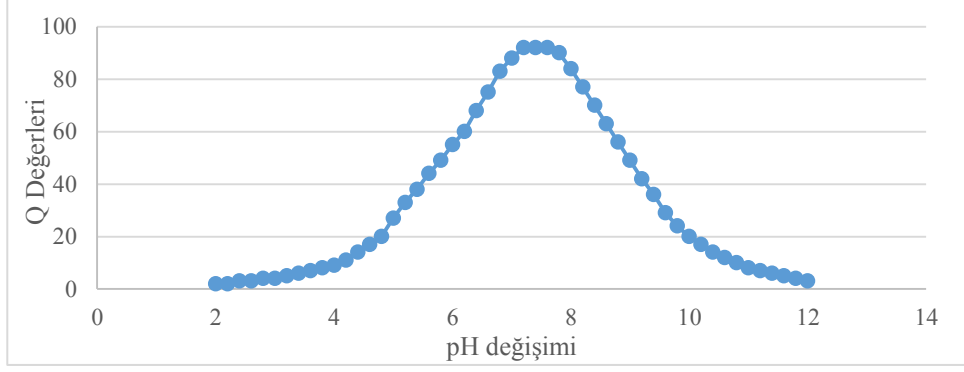
### 2.1.2.pH

pH; su içindeki hidrojen iyonu konsantrasyonunu 10 tabanına göre negatif logaritması olarak tanımlanmaktadır. pH değeri 7 olan sular Nötr sular olarak nitelendirilmekte ve  $H^+$  ve  $OH^-$  iyonları denge halinde bulunmaktadır. Sudaki  $H^+$  iyonlarının artması ile pH değeri 7'nin altına düşerek su asidik karakter kazanmaktadır.  $OH^-$  iyonlarının artması ile de pH değeri 7'nin üzerinde çıkarak su bazik karakter kazanmaktadır. pH değerleri 0-14 arasında değişmektedir (Güler, 1997). Göllerde pH değeri 6-9 arasında değişim göstermektedir. Çözünmüş karbonat miktarının fazla olduğu bölgelerdeki bulunan göllerde pH değeri 9'a kadar, akıntı olmayan göllerde ise buharlaşma alkali maddelerin birikmesine neden olduğundan pH değeri 12'ye kadar çıkabilmektedir. Volkanik göllerde ve maden yatakları yakınındaki göllerde ise pH değeri 1,7'ye kadar düşebilmektedir (Tanyolaç, 1993).

pH, sıcaklık gibi birçok biyolojik ve kimyasal olayda etkili bir parametredir. Düşük pH'lı sular, korozif karaktere sahip oldukları için suların geçtiği borularda bazı zehirli metalleri çözebilmektedirler. Yüksek pH'lı sular ise, tat problemi ortaya çıkmakta ve suda sabunumsu bir kayganlık hissi oluşmaktadır. Aynı zamanda sulardaki pH'ın yüksek değerlere sahip olması durumunda amonyak ve azot bileşiklerinin zararlı etkileri de artmaktadır. pH değeri suyun kalitesi açısından doğrudan bilgi vermemekle birlikte su temini, kimyasal koagülasyon, dezenfeksiyon, sertlik giderme ve korozyon kontrolü gibi işlemlerde önem taşımaktadır (İkinci, 2016).

Küçük (2007) Büyük Menderes Nehri'nde yaptığı çalışmada, su kalitesini değerlendirmek için DSİ tarafından 1992 yılından itibaren 66 istasyondan alınan su örneklerinde incelenen fiziksel, kimyasal organik, inorganik ve bakteriyolojik parametreleri değerlendirilerek yorumlar yapmıştır. Elde edilen fiziksel parametreler arasında pH değerlerinin de bulunduğu ve Menderes Nehrinin pH değerlerinin 7,6 ile 8,1 arasında değiştiği gözlenmiştir. Yalnız 2004 yılında pH değerinin yükselerek 8 olduğu gözlenmiş ve bunun nedeninin çevresel şartlar olabileceği belirtilmiştir.

Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile pH değişimi grafiği Şekil 2.2'de verilmiştir.

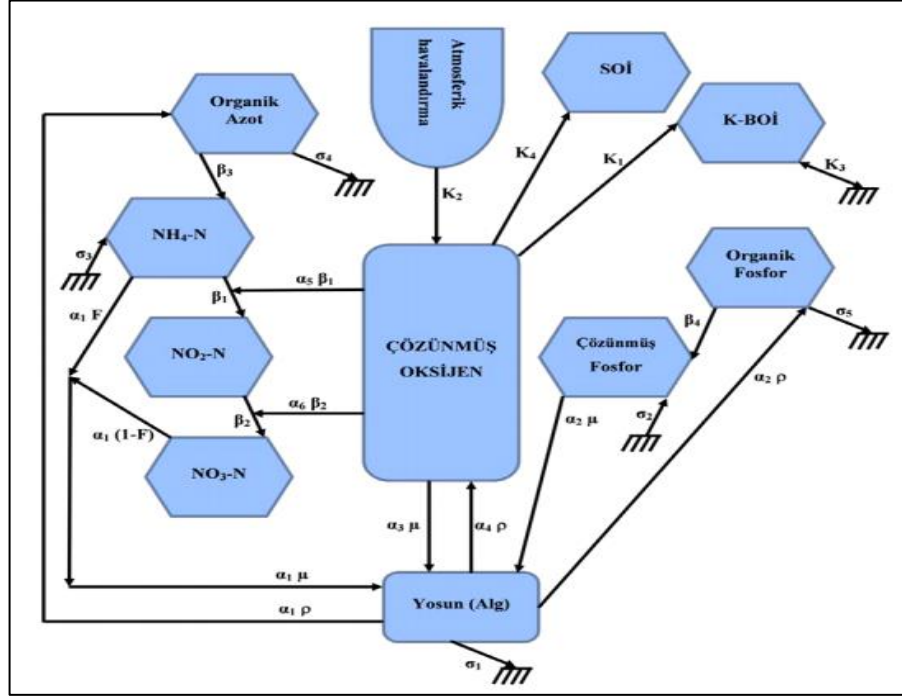


Şekil 2.2. pH değışimi için Q değerleri ( $pH < 2$  ve  $pH > 12$  olduğunda  $Q=0$ )

### 2.1.3. Çözünmüş oksijen

Oksijen, sucul yaşamın parçası olan tüm canlılar için gereklidir. Doğal sulardaki oksijen derişimi; sıcaklık, tuzluluk, akım, alg ve bitkilerin fotosentetik aktiviteleri ve atmosferik basınca göre değişmektedir. Sularda gerçekteşen biyolojik solunum ve bazı organizmaların bozunması, organik madde miktarının fazlalığı ve bakteriyolojik aktiviteler sonucu indirgenmesi çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır (Serdar, 2015).

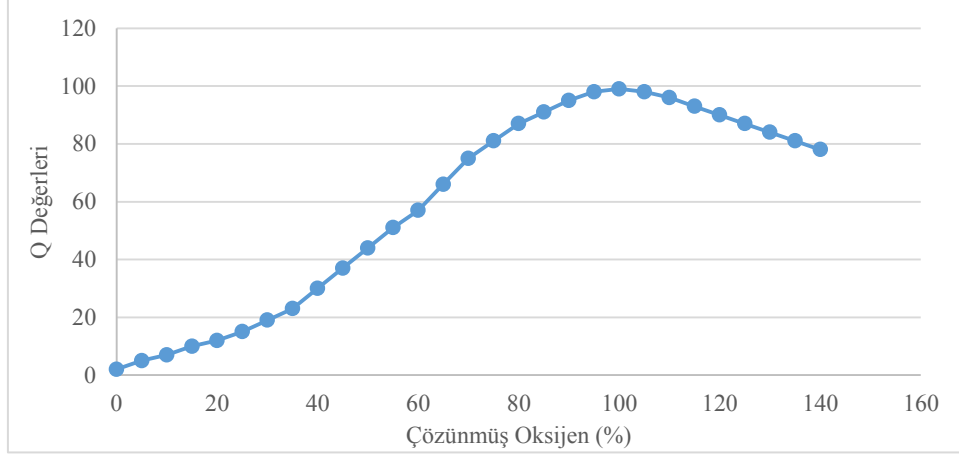
Çözünmüş oksijen seviyeleri, diğer su kalite parametrelerini de etkilemektedir. Sudaki yaşamın sürdürülebilirliği, alg aktivitesi ve organik madde miktarı çözünmüş oksijen seviyesine bağlıdır. Sudaki çözünmüş oksijen seviyesi aynı zamanda suyun kirlilik derecesini de ortaya koyar diyebiliriz. Sulardaki çözünmüş oksijen yüzdesi, sıcaklıkla ters orantılı atmosfer basıncı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Yüksek basınçta yüksek miktarda oksijen çözünmekte fakat yüksek sıcaklıkta düşük miktarda oksijen çözünmektedir. Sudaki oksijen miktarının yüksek olması tercih edilmektedir (Yılmaz, 2015).



Şekil 2.3. Çözünmüş oksijen dengesi ve etki parametreleri (Coşkun, 2012)

Taş (2006) Derbent Baraj Gölü'nde yaptığı çalışmada; Şubat 2001-Temmuz 2002 tarihleri arasında bir istasyondan periyodik olarak her ay alınan su örneklerinde 16 parametre incelenerek, göl suyunun kalitesi ve su ürünleri üretimi açısından verimliliği saptamaya çalışmıştır. İncelenen parametrelerden biri olan çözünmüş oksijen seviyesinin, en yüksek Ocak 2002'de 12 mg/L olduğu, en düşük Ekim 2001'de 8,1 mg/L olduğu saptanmıştır. Kafeslerde alabalık yetiştiriciliği yapılacak göllerde çözünmüş oksijen seviyesinin 6 mg/L'nin üzerinde olması gerektiği ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre çözünmüş oksijen seviyesinin 8 mg/L olan 1. sınıf kalitedeki suların alabalık yetiştiriciliği için uygun sular olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmada, yıl içerisindeki çözünmüş oksijen seviyelerindeki değişime göre baraj gölünün balık yetiştiriciliği için uygun ortama sahip olduğu belirlenmiştir.

Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile çözünmüş oksijen değişimi grafiği Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Çözünmüş oksijen değişimi için Q değerleri ( $CO > \%140$  olduğunda  $Q=50$ )

#### 2.1.4. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ)

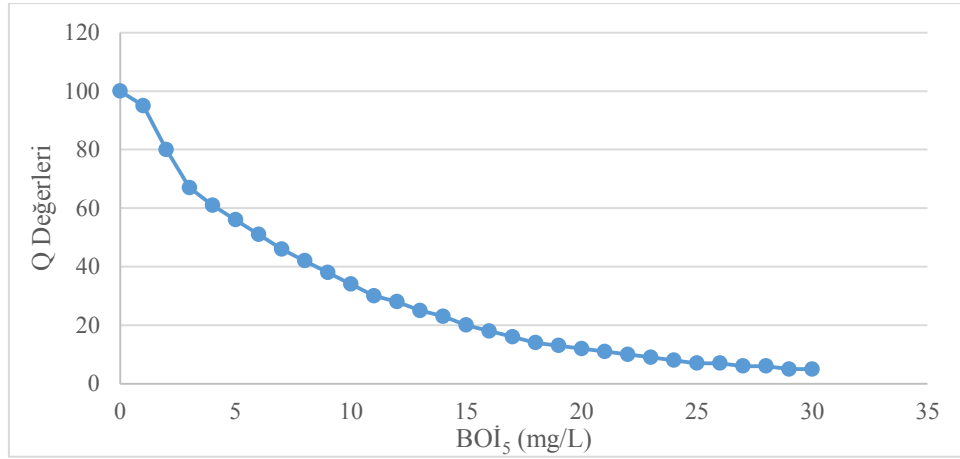
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), aerobik koşullarda mikroorganizmaların sudaki organik maddeleri ayrıştırmak için gerekli oksijen miktarı olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, bakterilerin aerobik şartlarda organik maddeleri parçalayarak stabilize etmeleri için gerekli oksijen miktarıdır (Akyüz, 2016). BOİ seviyesinin belirlenmesi, suyun kirlilik yükünün belirlenmesi, arıtma tesislerinden çıkan suyun temizlenme derecesini ve arıtılmış suların çevresel kaynaklara deşarj edilebilmesi için yönetmeliklerde verilen sınır değerlere uygun olup olmadığının bilinmesi için gereklidir.

BOİ analizleri genellikle 20 °C’de 5 gün süre ile yapılarak BOİ<sub>5</sub> olarak verilir. Beş gün sürede suyun içerdiği organik bileşikler biyokimyasal olarak parçalanma süreçlerini tamamlayamamaktadırlar. Teorik olarak organik maddelerin tam biyolojik oksidasyonu için sonsuz zaman gerekmele birlikte pratikte reaksiyonun 20 günde tamamlandığı esas alınmaktadır. Ancak 20 gün beklemek çok zaman aldığı için BOİ<sub>5</sub> tayininde 5 günlük süre kabul edilerek inkübasyon süresi 5 gün ile sınırlandırılmıştır (Hacıoğlu, 2011). Su içindeki organik bileşiklerin tümünün mikroorganizmalar tarafından tamamen parçalanması için harcanan oksijen miktarı nihai BOİ olarak bilinmekte ve bu değer deneysel olarak değil hesaplanarak bulunmaktadır (Coşkun, 2012).

Gedik ve ark. (2010) gerçekleştirdikleri çalışmada, Rize ili Ardeşen ve Çamlıhemşin ilçeleri sınırları içinde bulunan Fırtına Deresi’nin su kalitesini belirlemek amacıyla Mayıs 2006-Nisan 2008 tarihleri arasında yedi istasyondan aylık olarak su

örnekleri alınmıştır. İncelenen parametrelerden biri olan  $BOI_5$  seviyelerinde yıl boyunca dalgalanmalar görülmüş olup en yüksek Ocak 2007’de 4,40 mg/L olarak, en düşük Mart 2008’de 0,60 mg/L olarak ölçülmüştür.  $BOI_5$  seviyesinin oldukça düşük olduğu için Kıta İçi Su Kalitesi sınıflandırmasına göre 1. sınıf olduğu görülmüştür.

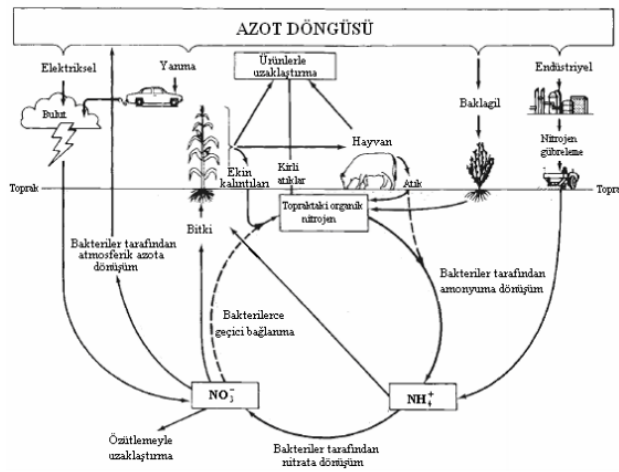
Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile  $BOI_5$  değişimi grafiği Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5.  $BOI_5$  değişimi için Q değerleri ( $BOI_5 > 30$  olduğunda  $Q=2$ )

### 2.1.5. Nitrat

Nitrat; toprakta, yeraltı sularında, yüzeysel sularda ve bitkilerde doğal olarak bulunmaktadır. Hayvansal atıklardan ve bitkilerin bozunması ile nitritlerin dönüşümü ile oluşmakta ve azot döngüsünün doğal bir parçasıdır.

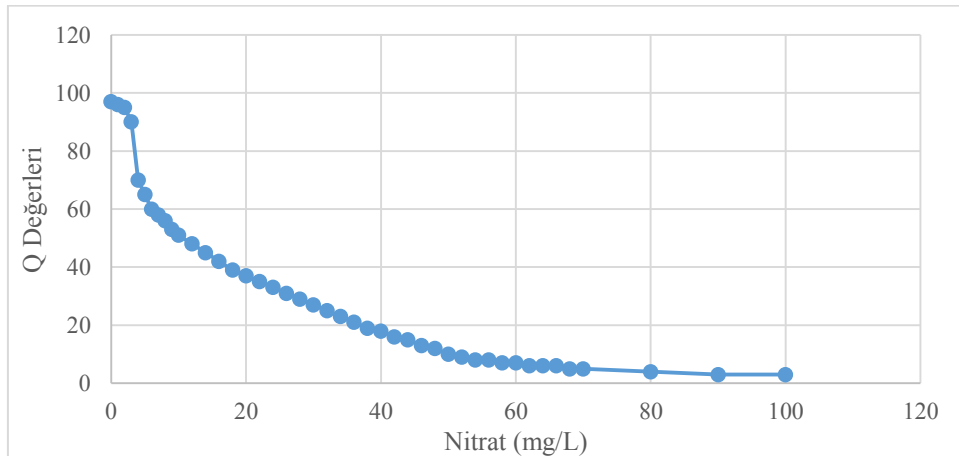


Şekil 2.6. Doğadaki azot döngüsü (Eren, 2006)

Nitratin çevrede fazla birikim göstermesi kirlilik oluşumuna neden olmaktadır. Suda kolay çözünebilir olması nedeniyle sulara karışmakta, nehir göl ve diğer su kaynaklarında aşırı birikmesi ile de bu alanlardaki bitkilerin ekosisteme zarar verecek derecede büyümesine neden olmaktadır. İnsanlar tarafından içilebilen sularda ve yenilebilen sebzelerde yüksek miktarda nitrat bulunması insan sağlığı açısından zararlı etkiler yaratmaktadır. Nitratin sağlık açısından olumsuz etkiler oluşturması nitrite indirgenmesinden kaynaklanmaktadır. Nitrit, toksik etki göstererek kanser oluşunda etkin rol oynayan nitrozamin bileşiklerine dönüşmektedir. Nitratin zararlı etkileri olduğu gibi, sağlık açısından yararlı etkileri de vardır. Damar genişletici ve kan basıncını düşürücü özelliğinden dolayı kalp, tansiyon vb. hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçların yapısında bulunmaktadır (Eren, 2006).

Taşdemir ve Göksu (2001) yaptıkları çalışmada, Doğu Akdeniz Bölgesinde bulunan Asi Nehri'nde bir yıl boyunca su örnekleri almışlardır. İncelenen parametrelerden biri olan toplam nitrat seviyeleri için en düşük 0,0003 mg/L ve en yüksek ise 4,91 mg/L olarak belirlenmiştir. Çalışmada belirlenen nitrat seviyelerinin 5 mg/L'nin altında olduğu için Asi Nehri sularının temiz su sınıfına girdiği belirlenmiştir.

Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile toplam nitrat değişimi grafiği Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Toplam nitrat değişimi için Q değerleri (Nitrat > 100 mg/L olduğunda Q=1)

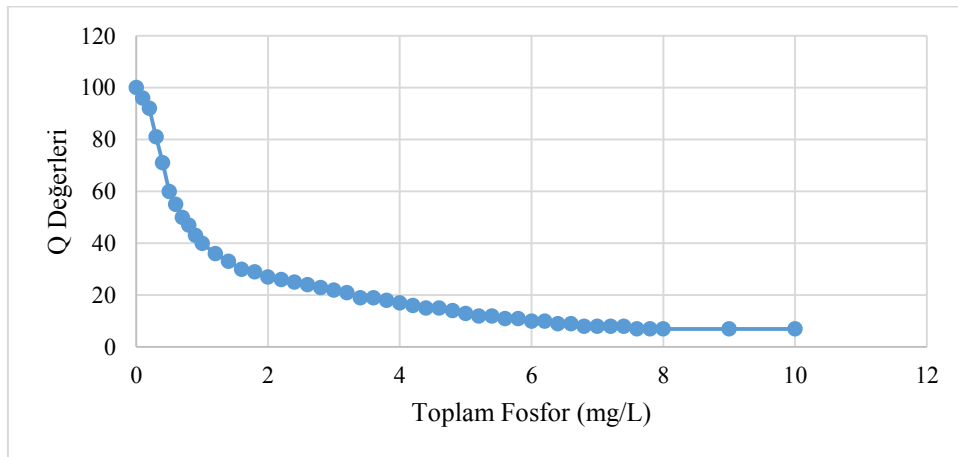
### 2.1.6. Toplam Fosfor-Fosfat

Yüzeysel sularda önemli bir kirlilik göstergesi olan fosfor, doğal suların verimliliğini etkileyen en önemli mineral olmakla birlikte ötrofikasyon oluşumundaki

en temel elementtir. Fosfor sularda çeşitli fosfat türlerinde bulunmaktadır (Serdar, 2015). Fosfatta doğal sularda inorganik ve organik şekillerde bulunabilmektedir. Suyu geçişi, kaya ve topraklardan geçişinin yanı sıra yapay gübrelerden ve endüstriyel atıklardan da olabilmektedir (Uysal, 2015). Bu şekilde sulara ulaşan fosfatlar suyun oksijen bakımından zengin üst kısmında bulunan alg ve fotosentez yapan diğer bitkilerin aşırı miktarda çoğalmasına neden olmaktadır (Serdar, 2015). Kompleks fosfatlar suda sertlik maddelerini inaktif hale getirerek suyun sertliğini biraz gidererek zehirli maddelerin etkisinin artmasına neden olabilmektedir. Bunun yanında ağır metalleri kompleks bağlama ile bağlayabilmektedirler.

Mutlu ve Tepe (2014) yaptıkları çalışmada, Hatay ilinde bulunan Kureyşi Deresi üzerine kurulmuş Yayladağı Sulama Göleti'nde göletin tümünü temsil eden iki istasyondan Nisan 2003-Mart 2004 tarihleri arasında aylık olarak su örnekleri alarak sulama göletinin bazı fiziksel ve kimyasal değişimlerini belirleyerek, içme suyu, kullanım suyu ve balık yetiştiriciliği açısından değerlendirilmesini amaçlamışlardır. İncelenen parametrelerden biri olan fosfat seviyelerinin yıl boyunca yapılan ölçümler sonucunda iki istasyon arasında farklılık göstermediği belirlenmiştir. Ekim ayından itibaren iki istasyon içinde fosfat seviyelerinin düşüşe geçtiği Ocak, Şubat ve Mart aylarında da ölçülebilecek değerin altında olduğu tespit edilmiştir. Göletin; içme, kullanma, sulama ve su ürünleri yetiştirme açısından toplam fosfat seviyeleri bakımından uygun durumda olduğu belirtilmiştir.

Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile toplam fosfat değişimi grafiği Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Toplam fosfor değişimi için Q değerleri (Fosfor > 100 mg/L olduğunda Q=2)

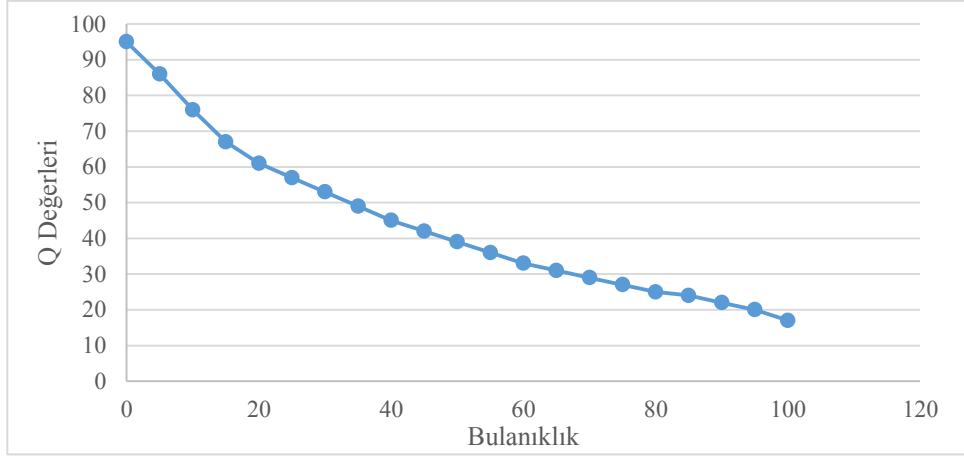


### 2.1.7. Bulanıklık

Sularda asılı halde bulunan maddelerin miktarı bulanıklık olarak adlandırılmaktadır. Suların bulanıklığı, ışık geçirgenliğini askıda maddelerin engellemesi ile ortaya çıkmaktadır. Yüzeysel sularda bulanıklığı etkileyen parametreler; plankton yoğunluğu, suda çözünen organik ve inorganik maddeler, suyun kimyasal yapısı, ışığın gelme açısı ve dalga boyu, su yüzeyinin durumu ve bulutluluk durumu vb. gibi sıralanabilmektedir (Kasaka, 2014). Sudaki bulanıklık cansız materyaller ile ortaya çıkmışsa o suyun biyolojik verimliliği düşük, canlı materyaller ile ortaya çıkmışsa verimlilik yüksektir. Sularda bulanıklık arttıkça fotosentez azalmakta böylece sudaki oksijen ve plankton üretimi düşerek sucul yaşamdaki besin dengesi bozulmaktadır. Bulanıklığın sucul ortamdaki diğer olumsuz etkileri ise; balıkların mukus tabakasını zedelemesi, görüşü azaltması, beslenmeyi olumsuz etkilemesi, predatörlere yakalanmayı kolaylaştırması, solungaçlara zarar vermesi ve üreme faaliyetlerini engellemesi şeklinde sıralanabilmektedir. 200 NTU bulanıklık değerlerinin yapılan çalışmalarla balıklar için öldürücü doz olduğu belirlenmiştir (Serdar, 2015).

Dişli ve ark. (2003) yaptıkları çalışmada, Şanlıurfa Balıklıgöl sularının fiziksel parametreler yönüyle değerlendirmesini amaçlayarak iki ayda bir gölün giriş, orta ve çıkış kısımlarından numuneler almışlardır. İncelenen parametrelerden biri olan bulanıklık değeri tüm aylarda gölün giriş, orta ve çıkış kısmında 5 NTU olarak ölçülmüştür. Elde edilen değerlerin içme suyu standartlarına göre değerlendirmesi yapılarak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve TS 266'da belirtilen limitlere uygun olduğu belirlenmiştir. Gölün farklı kısımlarından alınan örneklerin eşit bulanıklık değerlerinde olması göl içerisinde bulanıklığa neden olacak bir kirleticinin dışarıdan göle karışmadığı şeklinde yorumlanmıştır.

Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile toplam fosfat değişimi grafiği Şekil 2.9'de verilmiştir.



Şekil 2.9. Bulanıklık değişimi için Q değerleri (Bulanıklık > 100 mg/L olduğunda Q=5)

### 2.1.8. Fekal koliform

Koliform grubu bakteriler, *Enterobacteriaceae* familyasında yer almaktadır. Bu bakteriler, fakültatif anaerob, gram negatif, spor oluşturmeyen, 35 °C’de 48 saat içinde laktozdan gaz ve asit oluşturan, çubuk şeklindeki bakterilerdir. Bu grupta yer alan bakterilerden normal florası sıcak kanlı hayvanların ve insanların alt sindirim sistemleri olanlar “fekal koliform” olarak tanımlanmaktadır (Tüfekçi, 2011). Fekal koliform grubu *E. coli* ve *Klebsiella pneumoniae* bakterilerinden oluşmakla birlikte büyük çoğunluğunun *E. coli* olduğu bilinmektedir. Herhangi bir örnekte *E. coli* ve/veya fekal koliform bakterilerin bulunması oraya doğrudan ya da dolaylı olarak dışkı bulaştığının bir göstergesidir. *Enterobacteriaceae* familyasının koliform grubu içinde yer alan *E. coli*’nin, en yaygın kullanılan indikatör bakteri olmasının nedeni, insanların gaitalarında  $10^8$  adet/gr gibi yüksek düzeyde bulunarak lağım sularının çok seyreltik olarak bulaştığı yerlerde dahi belirlenebilmesidir (Şimşek, 2011).

Koliform bakteriler toprak, su, meyve, sebze, çiçekli bitki ve ağaç, hayvan, böcek ve insanlarda bulunmaktadır ve bu bakterilerin bazı türleri insanlar, hayvanlar, böcekler ve bitkiler için patojenik potansiyel taşımaktadır (Genç, 2006). Uluslararası standartlarda kabul edildiği gibi; ülkemizde de toplam ve fekal koliform bakteriler su mikrobiyolojisi kalite standardı parametreleri olarak gösterilmektedir ve fekal koliform bakteri miktarının standartların üzerinde bulunması durumunda ise, suyun enfeksiyon yaydığı kabul edilmektedir (Akar, 2009).

Çizelge 2.7. *Enterobacteriaceae* familyasının sınıflandırma piramidi (Akar, 2009)

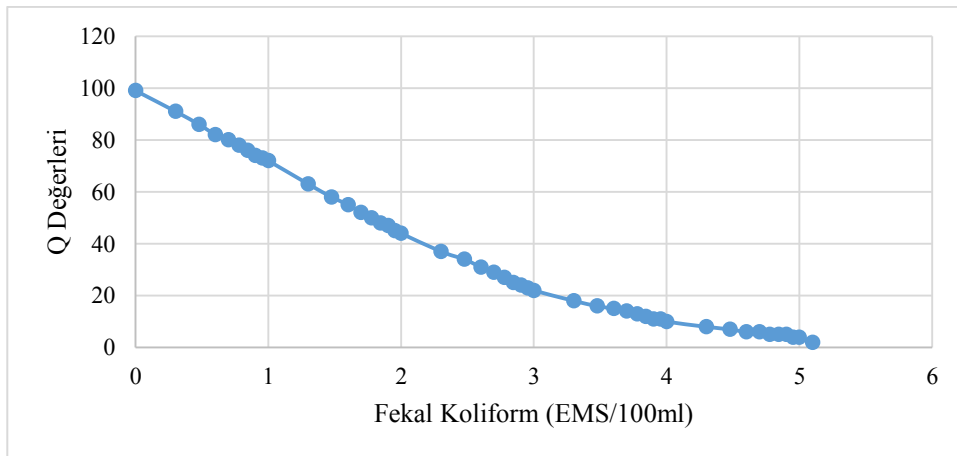
Sistemik hiyerarşi	
<b>Alem</b>	Bacteria
<b>Şube</b>	Proteobacteria
<b>Sınıf</b>	Gammaproteobacteria
<b>Takım</b>	Enterobacteriales
<b>Aile</b>	Enterobacteriaceae

**Çizelge 2.8.** *Enterobacteriaceae* familyasının bazı özellikleri (Akar, 2009)

Tür	Hareket	Ortam	Patojenite	Kapsül
<i>Enterobacter aerogenes</i>	+	Toprak, su vb.	+	±
<i>Citrobacter freundii</i>	+	Dışkı	+	+
<i>Klebsiela pneumoniae</i>	-	Dışkı, toprak su, meyve	+	+
<i>Hafnia alvei</i>	+	Dışkı, toprak, su, vb.	+	-

Uysal'ın (2015) yaptığı çalışmada, Eskişehir İlinde bulunan altı göletten 2013-2014 tarihleri arasında mevsimsel olarak su örnekleri alarak su kalite indeksi hesaplanmıştır. İncelenen parametrelerden biri olan fekal koliform seviyesi en yüksek Borabey Gölet'inde, en düşük Sarıungur Gölet'inde belirlenmiştir. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, Kıtaçi Yüzeysel Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri'nde fekal koliform için verilen su kalite sınıflarının değerleri incelendiğinde tüm göletlerin 3. sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir.

Su kalite indeksi hesaplamasında kullanılan Q değeri verileri ile toplam fosfat değişimi grafiği Şekil 2.10'da verilmiştir.



**Şekil 2.10.** Fekal koliform değişimi için Q değerleri (Fekal koliform > 100000/100ml olduğunda Q=2)

## 2.2. Göllerin Trofik Seviyesi

### 2.2.1. Göl ekosistemi ve özellikleri

Toplumun su ihtiyacını temin etmek için yapılacak çalışmalar su ihtiyacının belirlenmesi ve kaynak seçimi ile başlamaktadır. Su kaynağının seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kalite, miktar ve maliyet olmak üzere üç ana faktör bulunmaktadır. Seçilecek olan kaynaktaki su miktarının yeterli ve su kalitesinin kabul edilebilir olması gerekmektedir. Genellikle kaynak olarak yakında bulunan akarsu ve göller seçilmektedir. Bu kaynaklar istenilen miktarda suya sahip olmakla beraber su kalitesi olarak doğrudan kullanılabilir durumda olmayabilmektedir. Su temini için göl ve nehir yanı sıra kuyu ve memba suları da kaynak olarak kullanılmaktadır. Bu kaynakların da suları iyi kalitede olmalarına rağmen, miktar bakımından yeterli olmayabilmektedir. Dolayısıyla küçük yerleşim merkezleri dışındaki büyük şehirlerin su ihtiyaçları genel olarak yüzey sularından temin edilmektedir.

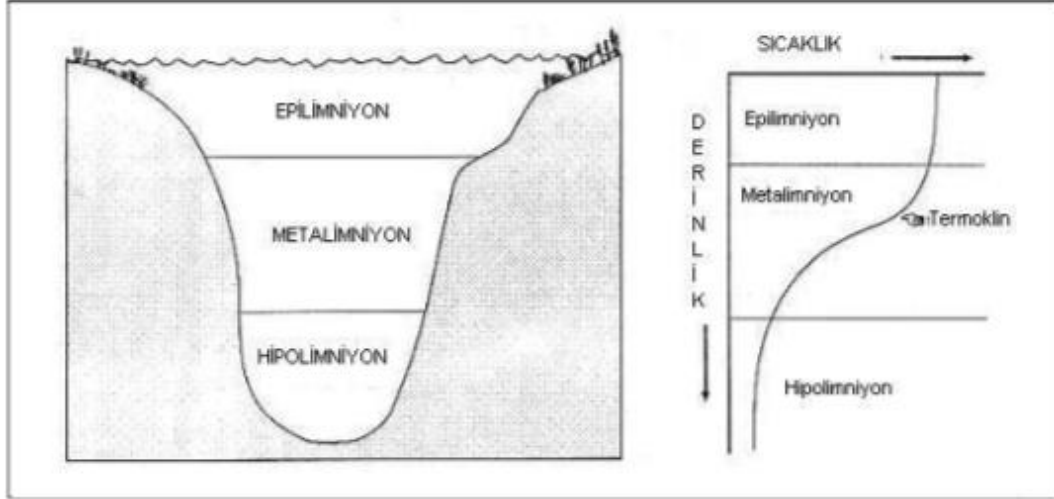
Göller, karalar üzerindeki gediklerde biriken ve okyanuslar ile bağlantısı bulunmayan durgun su kütleleri olarak tanımlanmaktadır. Göllerin yeryüzünde kapladıkları yüzey alanı yaklaşık 2.5 milyon km<sup>2</sup>'dir. Bu alan yeryüzündeki karaların yüzölçümünün %1.8'i kadardır. Göllerin oluşması, beslenme şekillerine ve su kütlelerinin kimyasal yapıları gibi değişik coğrafi faktörlere, göllerdeki suyun sıcaklığı ve tuzluluk oranları ise genel olarak enleme bağlıdır (Dak Özecik, 2006).

Göl suları; evsel ve endüstriyel su temini ile rekreasyon, taşkın kontrolü, ticari balıkçılık, sulama ve enerji üretimi gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Göller kısmen kapalıdır, yani göl ve gölü çevreleyen kara arasında sürekli bir alışveriş olmaktadır. Yüzey sularında kirlenmeye karşı en hassas olan yapılar göllerdir. Göllere, yüzey akışı ve yüzey altı akışı ile gelen tüm çözünmüş ve askıda katı maddeler göllerde birikmeye başlayarak gölün dolmasına neden olmaktadır. Bu akışların hızı gölün coğrafik yapısına, iklim ve mevsimsel koşullara bağlı olarak farklılık göstermektedir. Göle giren çözünmüş madde derişimi de göle giren suların kalitesine ve buharlaşma hızına bağlı olarak değişim göstermektedir (İnandık, 1965).

Göllerde çözünmüş ve askıda katı maddelerin meydana getirdiği kirliliğin dışında diğer bir kirlenme nedeni de evsel ve bazı endüstriyel atık sular ile tarımsal drenaj

sularında bulunan azot ve fosfordur. Göllerde azot ve fosfor artışı, alg üremesine ve organik madde miktarının da artmasına neden olmaktadır. Alglerdeki artış sudaki oksijen miktarını etkiler ve geçirgenliği azalarak bulanıklığın artmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda da göllerde doğal yaşam dengesi bozulmakta ve çökmenin de artması ile göller bataklıklara dönüşmektedir (Şimşek, 2011).

Göllerde tabakalaşma ve karışım mekanizmaları hidrodinamik, su kalitesi ve taşınım süreçleri konularında büyük öneme sahiptir. Göller sahip oldukları morfolojik ve kimyasal özelliklerine ve buldukları iklim kuşağına göre farklı tabakalaşma karakterleri göstermektedir. Suyun yoğunluğu maksimum +4 °C'dedir ve su ısıyı iyi iletmeyerek ısının büyük kısmını su içerisinde tutulmaktadır. Sıcaklık, göl sularında mevsimlere göre değişmektedir. Sıcaklık mevsimler yaklaştıkça üst tabakadaki su kütlesi ısınmaya başlamaktadır. Su ısıyı iyi iletmediği için ve sıcak su daha hafif olduğu için gözle görülür bir sıcaklık farkı görülmekte ve buna "termal tabakalaşma" adı verilmektedir. Bu durum kararlıdır ve yaz sonuna kadar bu şekilde kalmaktadır. Yaz aylarında su katmanları arasında sıcaklık ve yoğunluk farklılıkları daha belirgin hale gelmekte ve yeterli derinliğe sahip olan göllerde epilimnion, metalimnion ve hipolimnion olarak birbirine karışmayan üç tabakaya ayrılmasıyla sıcaklık tabakalaşması oluşmaktadır (İşgören, 2009). Epilimnion en üstteki tipik olarak en iyi karışmış sıcak tabakadır ve biyolojik ve kimyasal reaksiyonların büyük bir kısmı bu tabakada meydana gelmektedir. Epilimnion tabakasının altında metalimnion veya termoklin bölge bulunmaktadır. Bu katmanda sıcaklık derinliğe bağlı olarak çok hızlı düşüş göstermekte ve bu tabakadaki yoğunluk değişimi üst ve alt katmanların yaz boyunca karışmasını engelleyen fiziksel bir bariyer vazifesi göstermektedir. Hipolimnion tabakası ise su sıcaklığının mevsimlere bağlı olarak değişmediği alt kısmı ifade etmektedir.



Şekil 2.11. Bir gölde termal tabakalaşma (Cüce, 2012)



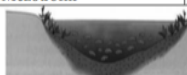

Termal tabakalaşma göllerde yaşayan organizmalar üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Epilimnion tabakasında; birincil üretim, çözülmüş inorganik besin tuzları büyük ölçüde gerçekleşmektedir. Çoğu gölde hipolimniondan yeni besin tuzu üretimi olmadığı için fitoplankton gelişimi için ciddi şekilde besin tuzu sıkıntısı yaşanmaktadır. Metalimnion tabakasına ağırlık olarak besin tuzunun bakımından fakir biyomas yönünden zengin olan epilimnion ile besin tuzu bakımından zengin biyomas yönünden fakir olan hipolimnion tabakası arasında su karışımı ve besin tuzu değişimi gerçekleşmemektedir. Yüzey suyunda bulunan besin tuzlarının mevsimsel değişimi fitoplankton popülasyonlarının temporal düzeni için önem taşımaktadır. Epilimnion tabakasında ölen canlılar organik maddelerin hipolimnion tabakasında sedimentasyonuna neden olmaktadır. Hipolimnionda besin tuzlarını tüketen fitoplanktonların bulunmaması ve ortama sedimentasyon yoluyla organik madde girişi besin tuzu miktarını artırarak heterotrofik bakteri popülasyonunu desteklemektedir. Böylece oksijen tüketimi de artmaktadır. Bu nedenlerle, göllerin tabakalaşma özelliklerinin biyolojik, fiziksel ve kimyasal süreçleri ve sonuç olarak da su kalitesi ile ilişkili olduğu düşünüldüğünde oldukça önem taşımaktadır (Şimşek, 2011).

### 2.2.2. Göllerin Trofik Seviyesi

Trofik seviye; suda bulunan besinler ile göllerin zenginleşme miktarını ifade etmektedir. Göl sularında bulunan besin maddeleri doğal dengeye bağlı olarak suyun kalitesini oluşturmaktadır. Bir kirlilik durumunda besin maddelerinin anormal artışı olursa göl suyunun kimyasal kalitesi etkilenerek fitoplankton gelişimi hızlanarak

sudaki biyolojik denge bozulmaktadır. Bu nedenle alg türleri ve türlerdeki artış suyun trofik seviyesinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Trofik seviyenin belirlenmesinde besin yüklemesi, besin derişimi, verimliliği, fitoplanktonun tür bileşimi, fauna, flora miktarı ve niteliği gibi çok sayıda bileşen kullanılmaktadır (şimşek, 2011). Goller trofik seviyelerine göre oligotrofik, mezotrofik, ötrofik ve hipertrofik (hiperötrofik) olarak sınıflandırılmaktadır ve Çizelge 2.8’de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.9.** Trofik seviyeye göre gollerin sınıflandırılması (Cüce, 2012)

TROFİK DURUM	Toplam Klorofil-a (µg/L)	Toplam Fosfor (µg/L)	Toplam Azot (µg/L)	Secchi Derinliği (m)	GENEL ÖZELLİKLERİ
 Oligotrofik	<3	<15	<400	>3,9624	Minimum biyolojik aktivite, göl dibi boyunca az miktarda organik madde ve sediman, dipte çözülmüş oksijen yüksek, besin ve üretkenlik düşük, yüksek geçirgenlik, klorofil-a ve fosfor değerleri düşük, fitoplankton miktarda az, su temiz.
 Mezotrofik	3-7	15-25	400-600	2,4384-3,9624	Daha çok besin ve bu nedenle daha çok biyolojik aktivite.
 Ötrofik	7-60	25-100	600-1500	0,9144-2,4384	Sular besince zengin, yüksek biyolojik üretkenliğe sahip, göl dibindeki suda çözülmüş oksijen düşük ve organik madde birikimine sahip, sedimanda yüksek organik madde mevcut, sular yoğun fitoplankton büyümelerinden dolayı bulanık.
 Hiperötrofik	>60	>100	>1500	<0,9144	Çok düşük seviyede su berraklığı, potansiyel balık ve vahşi yaşam kaybı, sucul bitki türleri yok denecek kadar az.

#### a) Oligotrofik göl

Jeolojik olarak genç ve genellikle derin olan göllerdir. Suları temiz, üretim miktarı az ve çözülmüş besin konsantrasyonu düşüktür. Fitoplankton üretimi düşük olup 7–75 gr C/m<sup>2</sup>-yıl ve günlük üretimi büyüme mevsiminde 0,03–0,1 gr C/m<sup>2</sup>-gün’dür. Türlerin çeşitliliği değişik ve oldukça fazladır. Alg patlaması yüzeyde görülmez, verimliliği de düşüktür. C, P ve N konsantrasyonları azdır. Elektrolitler az olup, askıda veya göl tabanındaki organik maddeler de azdır. Bu nedenle de suyun rengi mavi ve ışık geçirgenliğine fazladır. Sıcaklığın ani olarak düştüğü hipolimnion tabakası oldukça geniştir ve oksijen tüketim hızı azdır. Oksijen her mevsimde ve derinlikte fazla miktarda bulunmaktadır (Özcek, 2006).

## **b) Mezotrofik göl**

Oligotrofik ve Ötrofik göl tipi arasındaki gölleri oluşturmaktadırlar. Bu göllerde su bitkileri yavaş yavaş görünmeye başlamaktadır. Su yeşilimsi bir renk almakta ve orta derecede balık üretimi gerçekleşmektedir (Özecik, 2006).

## **c) Ötrofik göl**

Ötrofik göller, besin maddeleri bakımından zengindirler ve bunlara çok miktarda plankton, kıyı bitkileri ve hayvanlar da dahil olmaktadır. Ötrofik göllerde organik çevrim süresince kayba neden olan çökmeler oluşmaktadır. Organik maddelerin ayrışması üretim sürecinin gerisinde kalarak gölün yavaş yavaş organik ve inorganik maddelerle dolmasına yol açmaktadır. Göl tabanında çöken ve parçalanan maddeler fazla miktarda oksijen tüketmekte ve bunun sonucunda gölde bulunan balık ve diğer canlıların yaşamı zorlaşmaktadır (Alpaslan, 1995).

## **d) Hipertrofik (Hiperötrofik)**

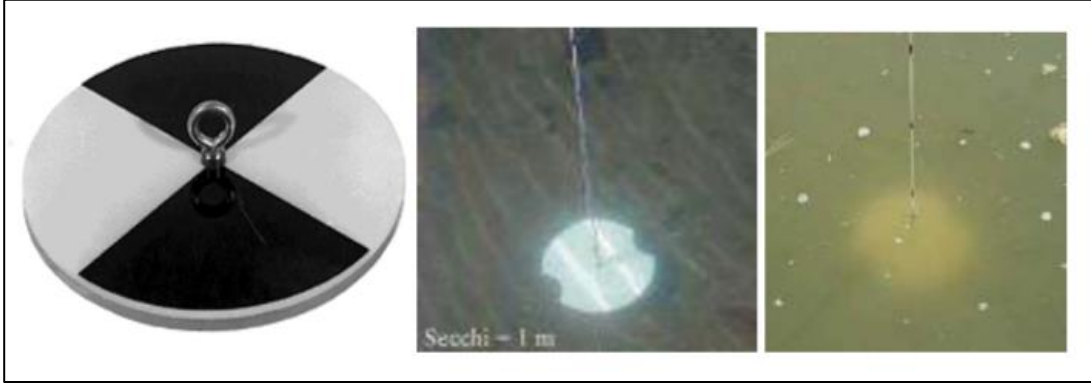
Hipertrofik göller bünyesinde aşırı derecede zenginleştirilmiş besini bulundurmaktadırlar. Bu tip göller çok zayıf berraklığa sahip ve alglerin çoğalmasına fazla olmaktadır. Bu göller, insani kullanımının az olması ve çözünmüş oksijenin az olması nedeniyle zayıf bir ekosisteme sahiptir. Göllerde, ötrofik seviyede gerekli önlemler alınmadığı durumda hipertrofik seviyeye geçilmekte ve mikroskobik bitkiler ile alglerin aşırı derece çoğalmasıyla göl tabanına ve kıyılarına birikmesi sonucu göller bataklaşarak yok olmakla karşı karşıya kalmaktadırlar (Cüce, 2012).

Trofik seviyenin belirlenmesi, göl yönetimi için önem taşımaktadır. Göl ekosisteminin ve bileşenlerinin birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunun tam ve canlı ifadesi olmaktadır. Zaman içerisinde trofik seviyeden, değişimleri değerlendirmek ve bölge içinde gölleri karşılaştırmak için yararlanılabilmektedir (Carlson ve Simpson, 1996). Trofik seviyenin belirlenmesi için, seki disk derinliği, toplam fosfor, toplam azot ve klorofil-a arasındaki ilişkiler kullanılmaktadır.

Seki diski derinliği; göl sularında geçirgenliğin bir ölçümüdür. Örnekleme dönemlerinde çoğunlukla seki diski derinliği, fitoplankton konsantrasyonuna göre değişiklik göstermektedir. Genelde besin düzeylerinde artış ile su geçirgenliği



azalmaktadır. Suyun rengi ve askıdaki madde miktarları da geçirgenliği etkileyen diğer faktörleri oluşturmaktadır. Seki diski derinliği, ucuz olması, gönüllü izleme programları içinde olması gibi nedenlerle tercih edilen bir parametredir. Seki diski derinliği, su çevresinden beyaz diskin ayırt edilemediği ya da siyah ve beyaz bir diskin siyah-beyaz çeyreklerinin disk su içine indirildiğinde birbirinden ayırt edilemediği derinlik olarak belirlenmektedir (Porcella ve ark., 1980).



Şekil 2.12. Seki diski (Tülek, 2006)

Toplam fosfor; alg gelişimi için sınırlayıcı bir faktördür. Toplam fosfor miktarı gölde ötrofikasyon ve üretkenlik düzeyini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Fosfor, temel besinlerden biri olarak, kalsiyum, demir veya alüminyum kompleks tuzları ve organik türleri gibi bileşiklerin sediman matrislerinde bulunabilmekte ya da yüzey mineraller üzerine adsorbe olmuş olarak bulunabilmektedir. Buna ek olarak, sistemin trofik yapısı ve trofik gelişimi göl sedimanlarındaki fosfor içeriği yoluyla da etki altında bulunmaktadır. ATP gibi hücresel enerjide baskın role sahip olması, alglerin hücre büyümesi için pek çok yapısal ve biyokimyasal fonksiyonel bileşenlerin önemli bir parçası olması dolayısıyla aşırı besleme sonucunda ötrofikasyona yol açabilmektedir. Zamanla fosfordaki artış, gölde besin zenginleşmesinin bir göstergesi olmaktadır. Sucul ortamlarda var olan çok yönlü ve karmaşık kimyasal ve biyokimyasal dengelerin anahtar elemanlarından biri olan fosfor, göllerin besin düzeylerine göre sınıflandırılmasında önemli bir yer oluşturmaktadır (Zhou ve ark., 2005; Wetzel, 1975).

Yüzeysel sulara karışan azot bileşikleri genel olarak doğal, evsel, endüstriyel ve tarımsal kaynaklardan ileri gelmektedir. Ötrofikasyon mekanizmasını etkileyen toplam azot; organik azot, amonyak azotu, nitrit azotu ve nitrat azotu olarak dört ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan amonyak azotu, nitrit ve nitrat azotu fitoplanktonların

gelişmesi için kullandıkları toplam inorganik azot bileşikleri olarak adlandırılmaktadır (Kurt, 2009).

Klorofil-a; tüm yeşil bitkilerde mevcut olan bitki pigmenti klorofil-a'nın yüzey sularındaki konsantrasyonu, ekosistem sağlığı ve biyokütle üretkenliğini hesaplamada kullanılabilen, bir su kütesinde mevcut fitoplankton veya alg miktarının göstergesidir. Göl suyu kalitesi ve ötrofikasyon durumunun en iyi hesaplanabilen ve fayda sağlayan indikatörü, klorofil-a seviyeleridir. Deniz ve tatlı su sistemlerindeki tüm alg gruplarında var olması sebebiyle klorofil-a konsantrasyonu su kütlelerinin biyolojik üretimi açısından anahtar bir indikatördür (Duan ve ark., 2007; Torbick ve ark., 2008). Yüksek klorofil-a değerleri suda aşırı besinlerden oluşan yüksek alg yoğunluğunu göstermektedir. Bu da suyun rengini azaltmakta, suda yeşil görünüm oluşturmakta, yüzeyde köpüklenme oluşturmakta, çözülmüş oksijen seviyesini azaltabilmekte, pH seviyesini değiştirebilmekte ve hoş olmayan tat ve koku oluşturabilmektedir. Trofik durum ile ilişkili bazı indikatörler Çizelge 2.9'da verilmiştir.

**Çizelge 2.10.** *Trofik durum ile ilişkili bazı indikatörler (Cüce, 2012)*

<b>İndikatör Parametre</b>	<b>Mevcut Koşullar; eşik ve sınır değer aralıkları</b>	<b>Açıklama</b>
Klorofil-a	Yüzey konsantrasyonları; Hiper-ötrofik (>60 µg/L) Yüksek (>20, ≤60 µg/L) Orta (>5, ≤20 µg/L) Düşük (>0, ≤5 µg/L) Algsel biyokütle için sınırlayıcı faktörler; N, P, Si, ışık vb.	Algsel patlamalar; birincil üretken fitoplanktonun bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek konsantrasyonlar, sualtı bitki örtüsünün yok olmasına ve dip suda oksijen seviyesinin düşmesine neden olmaktadır.

**Çizelge 2.9 (Devam). Trofik durum ile ilişkili bazı indikatörler**

Bulanıklık	Seki Disk Derinliği; Yüksek (<1m) Orta ( $\geq 1, \leq 3$ m) Düşük (>3m)	Su kütlelelerinde sucul bitkilerin yok olması bir ötrofikasyon koşulu olarak kabul edilse de, nutrient ve klorofil-a konsantrasyonlarındaki artışla birlikte bu bitkilerin gelişmesi yüksek bulanıklığa neden olmaktadır.
Çözünmüş Katılar	Yüksek Konsantrasyon	Biyolojik kaynaklar üzerinde önemli etki
Azot	Maksimum Çözünmüş Yüzey Suyu Konsantrasyonu; Yüksek ( $\geq 1$ mg/L) Orta ( $\geq 0,1$ ve $< 1$ mg/L ) Düşük ( $\geq 0$ ve $< 0,1$ mg/L)	Nutrient girdilerindeki artış, nutrient oranlarının değişimine neden olacağından fitoplankton büyüme hızında artışla birlikte su kütlelerinde alg patlaması ve benzeri bozunmalar görülebilir.
Fosfor	Maksimum Çözünmüş Yüzey Suyu Konsantrasyonu; Yüksek ( $\geq 0,1$ mg/L) Orta ( $\geq 0,01$ ve $< 0,1$ mg/L ) Düşük ( $\geq 0$ ve $< 0,01$ mg/L)	
Çözünmüş Oksijen	Düşük Konsantrasyon; Anoksik (0 mg/L) Hipoksik ( $> 0, \leq 2$ mg/L) Biyolojik Stres ( $> 2, \leq 5$ mg/L su kolunu derinliğine göre)	Dip sudaki ÇO konsantrasyonu, bentik organizmanın yaşaması için önemli olduğundan su kütlelerinin genel durumunu değerlendirmede standart bir yöntem haline gelmiştir. 2 mg/L altındaki ÇO konsantrasyonlarının bentik makro(epi)fauna da önemli derecede azalmaya yol açtığı görülmüştür.
Birincil Üretim	Baskın birincil üreticiler	Pelajik ve Bentik bölgede
Planktonik Topluluk	Baskın taksonomik grup (hücre sayısı)	Diatom, mavi-yeşil algler gibi
Bentik Topluluk	Baskın taksonomik grup (organizma sayısı)	Yumuşakça ve midyeler gibi
Sualtı Bitki Örtüsü	Yüzey Su Alanı; Yüksek ( $\geq \%50$ ve $\leq \%100$ ) Orta ( $\geq \%25, < \%50$ ) Düşük ( $\geq \%10, < \%25$ ) Çok Düşük ( $\geq 0, < \%10$ )	Bitkilerin çeşitliliği ve yoğunluğunun tespiti genel bir veri olarak değerlendirilmektedir. Sucul damarlı bitkiler, 1-2 m civarındaki yakın sucul çevre için hayati bir rol oynar. Bu bitkiler, sediman ve nutrient girdilerini zayıflatırlar.

### 2.2.3. Ötrofikasyon

Ötrofikasyon, su ortamına giren inorganik besin maddelerinin doğal ve yapay olarak artması, mikroskobik bitki ve alglerin artması ile su kalitesinin bozulması, su kaynağının doğal ömrünün azalması ve suyun kullanma olanaklarının azalması olarak tanımlanmaktadır. Nehirlerde, göllerde ve kıyı sularında, evsel ve endüstriyel atıklar yoluyla ve yoğun gübre kullanılan tarım arazilerinden süzülen sularla taşınan aşırı besin tuzları (inorganik azot ve fosfat bileşikleri) su kalitesini bozarak ötrofikasyona neden olmaktadır. Ötrofikasyon, alıcı ortamın ömrünü hızlı bir şekilde azalttığı için ötrofikasyona “göllerin yaşlanması” da denmektedir. Bütün göller, organik madde ve siltin aşamalı olarak birikmesi nedeniyle ötrofikasyon sürecine maruz kalmaktadır. Ötrofikasyon doğadaki doğal üretim sonucu binlerce yılda meydana gelebildiği gibi, antropojenik etkiler sonucunda daha da çabuk meydana gelebilmektedir. Evsel atıksular, endüstriyel atıksular ve tarımsal alanlardan gelen yüzey akış suları alg büyümesini uyararak su kalitesini düşürmektedir. Alg büyümesindeki majör elementler azot, fosfor ve karbondur. Bunların dışındaki diğer etmenler ise minör elementler olan  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$ ,  $K^{+}$ ,  $H^{+}$ ,  $S^{-}$ ,  $Cl^{-}$  ve Fe, Cu, Co, Mo, Mn, Zn, B, V gibi eser elementlerdir. Alglerin zamanla ölmesi ve çürümesi ile oksijen miktarı azalmakta, çirkin görünüm, tat ve koku problemi ile su kütlesinde birikimler meydana gelmektedir. Ötrofik göllerde baskın olan alg türü mavi-yeşil alglerdir (Özecik, 2006).

Ötrofikasyon, sulardaki besin zinciri ile alakalıdır. Algler, gelişmek ve üremek için, karbondioksit, inorganik azot, ortofosfat ve diğer besin maddelerine ihtiyaç duymaktadırlar. Algler zooplankton adı verilen mikroskobik hayvanların besinlerini oluşturmaktadırlar. Büyük balıklar küçük balıklarla, küçük balıklar ise zooplanktonlarla beslenmektedirler. Sulardaki besin zincirinin gelişmiş ve fazla üretken olması durumunda, sularda normal durumlarda az miktarda bulunan azot ve fosfor elementlerinin miktarı da fazla olmaktadır. Besin elementlerinin normalden fazla olması bitkisel üretim ve besin zinciri dengesini bozarak, zooplankton tarafından tüketilmesi kolay olmayan mavi-yeşil alglerin fazla miktarda üremesine neden olmaktadır. Ortamda mavi-yeşil alglerin görünmesi ötrofikasyonun belirtisi olarak nitelendirilmektedir (Yetgin, 2009).

Ötrofikasyona etki eden faktörler; fiziksel ve biyokimyasal faktörler, ötrofikasyonun belirlenmesinde kullanılan parametreler ise; coğrafik, morfolojik, hidrolojik ve ekolojik özellikler olarak sınıflandırılmaktadır. Fiziksel özellikler; ışık radyasyonu, sıcaklık, rüzgar, buharlaşma, epilimnion tabaka kalınlığının hipolimnion tabaka kalınlığına oranı, kıyı kesimi ve sahil şeridi morfometrisi, sediment karakteristiği ve hidrolojik bekleme süresi olarak sıralanmaktadır. Biyokimyasal özellikler; doğal ve yapay kaynaklardan göle ulaşan organik ve inorganik maddelerin cinsi, temel besin maddeleri ile diğer maddelerin dengesi, temel besin maddelerinin tekrar üretimi ve dönüşümü, toksik, humik ve diğer maddelerin varlığı, suyun ışık geçirgenliği ve sudaki çözülmüş oksijen, karbondioksit, ph vb. parametrelerdir. Gölün bulunduğu yerdeki coğrafi özellikler ötrofikasyonun belirlenmesinde önem taşımaktadır. Bu coğrafik özellikler; enlem ve boylam, rakım, iklim verileri, genel jeolojik karakteristikler, bitkiler, nüfus, su kullanımı ve atıksu yükleri olarak sıralanabilir. Morfolojik ve hidrolojik özellikler; göldeki su yüzeyi alanı, uzunluk, genişlik, göldeki su hacmi, derinlik, epilimnion tabakasının hipolimnion tabakasına oranı, doğal göl sedimentasyonu, su bütçesi, hidrolik bekleme süresi olarak, ekolojik özellikler ise; bakteri, fitoplankton, alg miktarı, flora, fauna, zooplankton, balık, makrofitler olarak sıralanmaktadır (Kurt, 2009).

Ötrofikasyona etki eden parametreler jeofiziksel ve biyokimyasal faktörler olarak gruplandırılabilir (Çizelge 2.10)

**Çizelge 2.11.** Ötrofikasyona etki eden parametreler (Özecik, 2006)

Jeofiziksel Faktörler	Biyokimyasal Faktörler
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Işık radyasyonu</li> <li>• Sıcaklık</li> <li>• Rüzgar</li> <li>• Buharlaşma</li> <li>• Sızdırma</li> <li>• Epilimnion/Hipolimnion oranı</li> <li>• Yüzey kıyı kesimi ve sahil şeridi morfometrisi</li> <li>• Sediment karakteristikleri</li> <li>• Göl hacminin taşma hacmine oranı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Doğal ve sunu göle dışarıdan gelen tüm yabancı organik maddelerin cinsi</li> <li>• Temel besin maddeleri ile diğer maddelerin dengesi</li> <li>• Temel besin maddelerinin tekrar üretimi ve dönüşümü</li> <li>• Toksik ve humik madde varlığı</li> <li>• Suyun ışık geçirgenliği</li> <li>• Çözülmüş oksijeni karbondioksit, pH</li> </ul>

Ötrofikasyonun kontrol edilmesinde, alg büyümesi için en çok sınırlayıcı olan besin maddesi temel önem taşımaktadır. Yapılan araştırmalar, 1960 ve 1970’de fosforun tatlı sularda çoğunlukla sınırlayıcı besin olan, besin ve algal kütle arasındaki ilişkileri,

besin sağlama oranları ve besin zenginleştirme denemelerini göstermiştir. Göllerde, besin maddelerinin zenginliği N:P oranına göre açıklanmaktadır. N:P oranları tür bileşimini ve alg gelişimini kontrol edebildiği için önem taşımaktadır. Genellikle göllerde,  $TN:TP >15$  ise fosfor sınırlayıcı;  $TN:TP <7$  ise azot sınırlayıcı olmaktadır.  $7 < TN:TP < 15$  ise; ne P ne de N sınırlayıcı yada hem N hem de P sınırlayıcı olabilmektedir. Tatlı su sistemlerinde genellikle fosfor sınırlı besin olarak düşünülürken, azot hali ve denizlerde ilk üretkenlik için sınırlayıcı bir faktördür (Tülek, 2006).

Göllerin kaçınılmaz bir sonu olarak görülen ötrofikasyonu önlemek veya geciktirmek için bazı önlemler alınabilir. Gl çevresinde bulunan kuruluşların endüstriyel atıkları ile evsel atıkların (kanalizasyon, mutfak, banyo vb.) arıtıldıktan sonra gle deşarjı yapılmalı, hayvanların yoğun olduğu çiftliklerin atıkların kontrolü yapılmalı, tarım arazilerinde gübre uygulamalarının kontrolü yapılmalı, gl çevresindeki tarım arazilerinde kullanılan tarım ilaçları ve kimyasal maddeler yağmur suları ile gle ulaşabileceği için gl yakınlarında bu tip ilaçlar kullanılmamalı, ormanlık alanlardan akışların ve erozyonun kontrolü yapılmalıdır (Tanyolaç, 1993).

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Çalışma Alanı ve Özellikleri

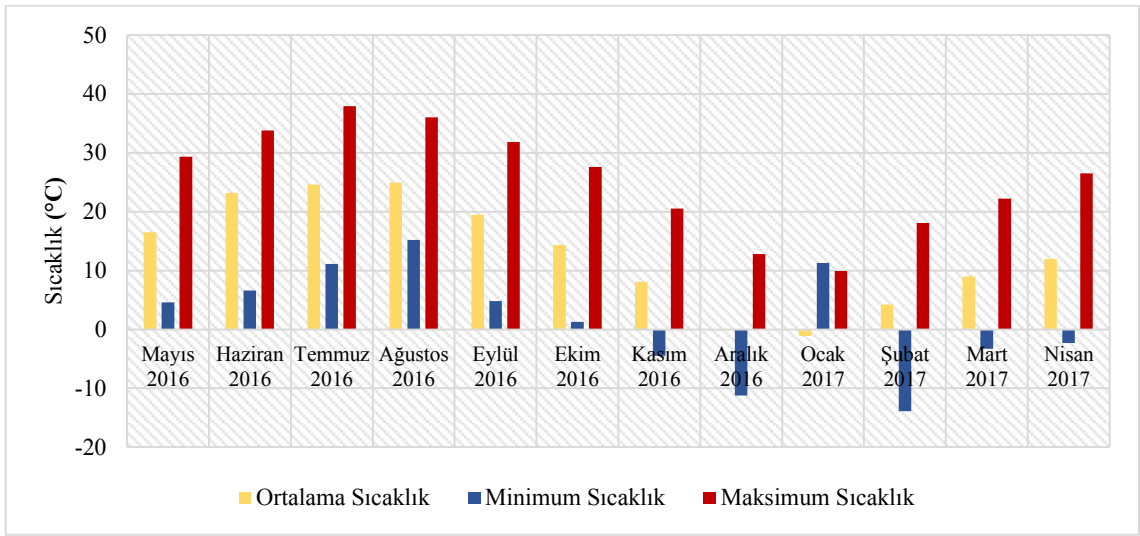
Sakarya nehrinin alt havzalarından biri olan Porsuk çayı, Sündiken, Türkmen ve Murat Dağları'nın çevrelediği bir havzada yer almaktadır. Havzanın coğrafi konumu; Kuzeybatı Anadolu'da 29°38'-31°59' doğu boylamları ile 38°44'- 39°99' kuzey enlemleri arasında yer alır. Havza 11.325 km<sup>2</sup>'lik bir alanda ve doğu-batı, kuzey-güney yönünde uzunlukları sırasıyla 202 km, 135 km'dir. Şekil 3.1'de de görüleceği gibi Porsuk Çayı'nın büyük kısmı Eskişehir, Kütahya illerinde olmak üzere Ankara ve Afyon illerine yayılış gösteren kollara sahiptir. Porsuk Havzası'nın suları, Sazlılar bölgesinden Sakarya Nehri'ne dökülmek üzere havzada 435 km'lik bir mesafe kat eder. Porsuk Çayı ve kollarından oluşan havzanın su potansiyeli yıllık ortalama 481 hm<sup>3</sup> tür (Gürel, 2011). Porsuk çayı ve havzasını Kütahya ve Eskişehir illerinden etkileyen kaynaklar Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Porsuk çayı ve havzasını etkileyen antropojen kaynaklar

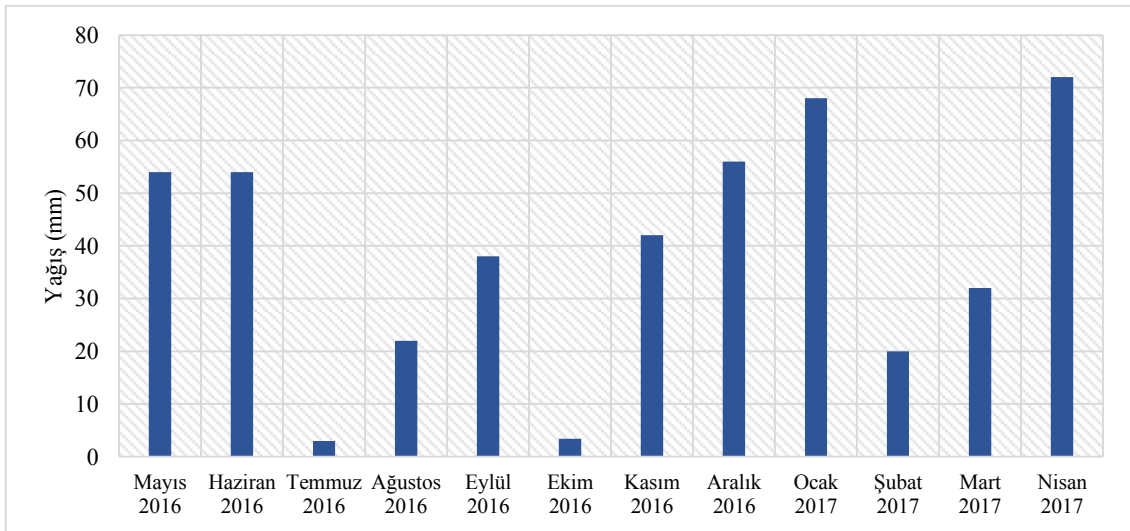
Kütahya ilinden etkileyen kaynaklar	Eskişehir ilinden etkileyen kaynaklar
1. Porselen fabrikaları	1. OSB atıksuları
2. Çini ve seramik fabrikaları	2. Lokomotif ve motor sanayi atıkları
3. Madencilik faaliyetleri	3. Uçak sanayi atıksuları
4. Gübre üreticileri	4. Şeker fabrikası atıksuları
5. Evsel atıksular	5. Uçak bakım fabrikası atıksuları
	6. Evsel atıksular

Porsuk Çayı, nüfus, sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerin her geçen gün artması ile birlikte kirlenmekte ve su kalitesi bozulmaktadır. Porsuk Çayı'nın su kalitesinin bozulması canlı yaşamı ile birlikte tüm ekosistemi olumsuz yönde etkilemektedir. Porsuk Çayı suyunun incelenerek su kalite indeksine göre karşılaştırma yapılarak kalite sınıflarının ortaya konulması ve elde edilen verilerin ulusal/uluslararası limit seviyelerle değerlendirilmesi bölge açısından su kalitesinin belirlenmesini sağlayacaktır. Bununla birlikte Kütahya ve Eskişehir'deki evsel ve endüstriyel kaynaklardan açığa çıkan kirliliğin ortaya konulması ile hem Kütahya hem de Eskişehir illerinin içme ve kullanma suyu olarak Porsuk Çayı'ndan yararlanması çalışmanın insan sağlığı açısından önemini bir kat daha arttırmaktadır.

Çalışmanın bir kısmının gerçekleştirildiği Kütahya ili; Ege Bölgesi'nde yer almasına rağmen, denizden uzaklık ve yükseltiye bağlı olarak iklimi kıyı Ege'den daha farklıdır. Kütahya ve çevresinin iklimi Ege, Marmara ve İç Anadolu Bölgeleri arasında bir geçiş tipidir. İklim ve sıcaklık şartları bakımından, her üç bölgenin özelliklerini taşımaktadır. Eskişehir ili ise İç Anadolu Bölgesi sınırları içinde yer aldığı için tipik karasal iklim hüküm sürmektedir. Her iki il için de çalışmanın yapıldığı Mayıs 2016-Nisan 2017 ayları için sıcaklık, nispi nem ve yağış seviyeleri Şekil 3.1-3.6'de verilmiştir (http-1).

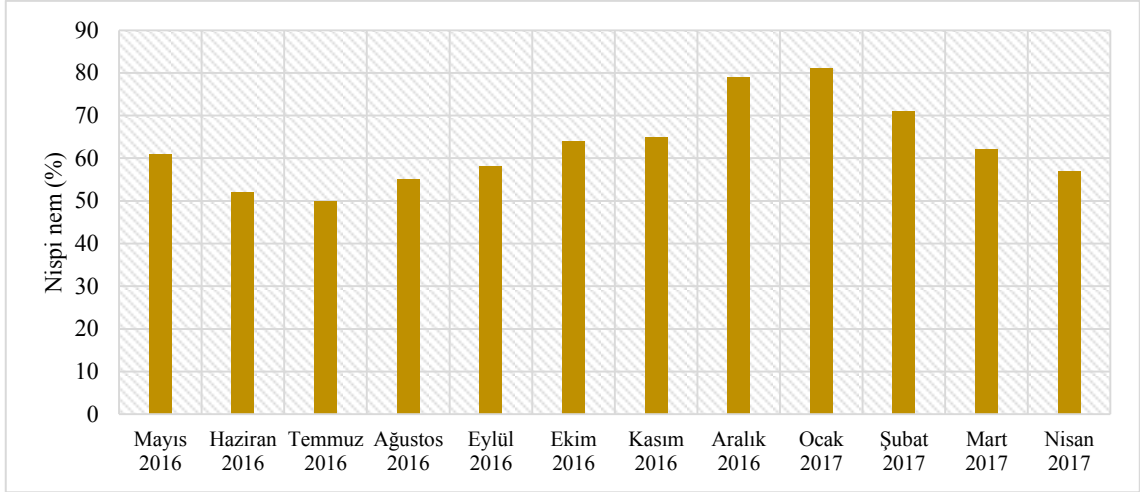


Şekil 3.1. Kütahya ili sıcaklık seviyeleri (°C)

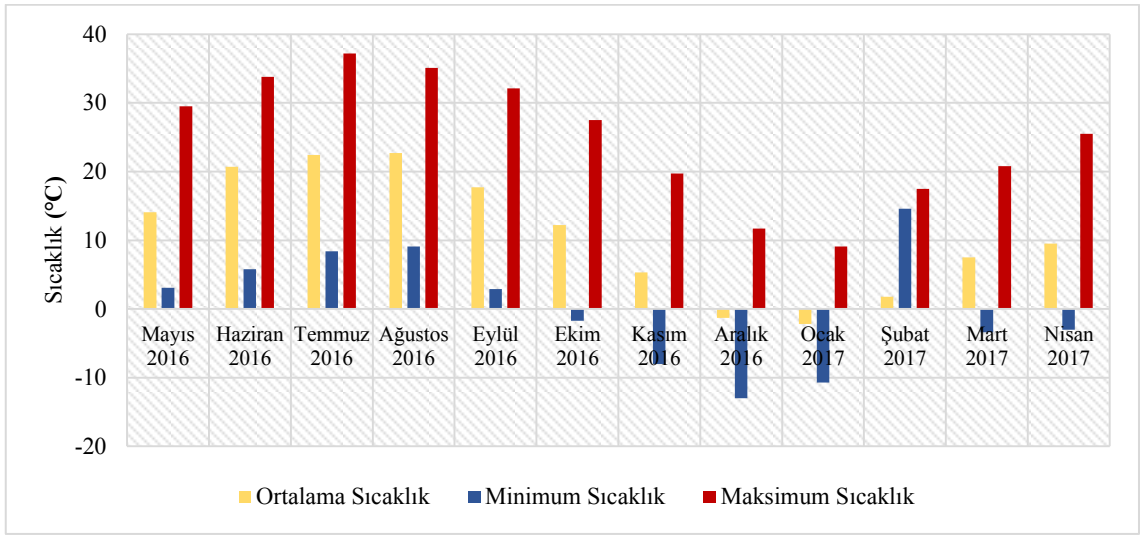


Şekil 3.2. Kütahya ili yağış seviyeleri (mm)

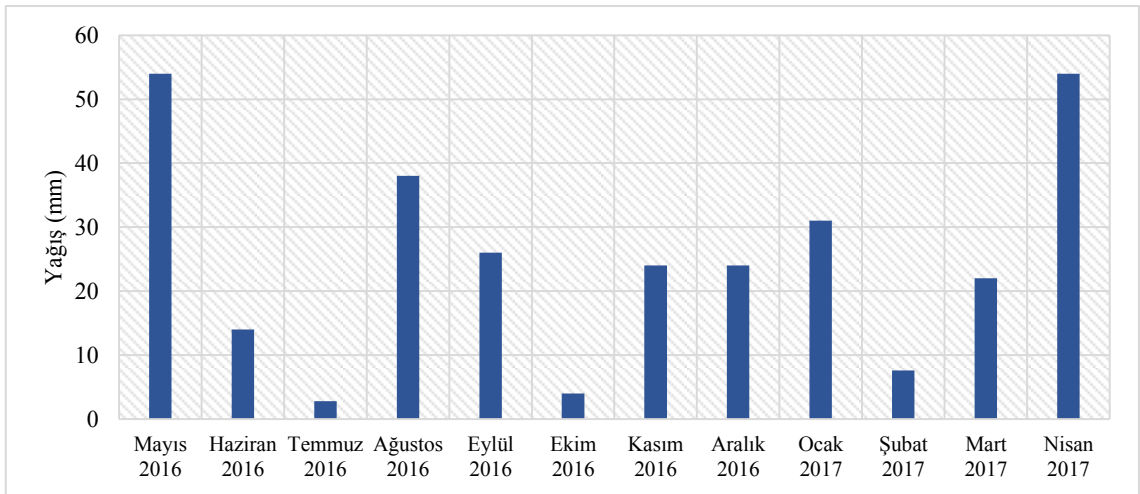




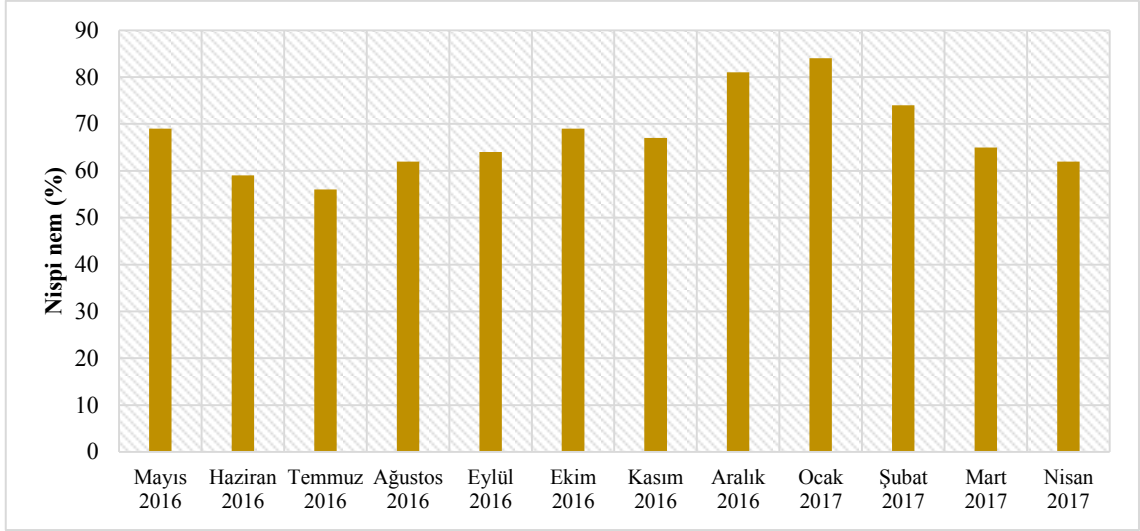
Şekil 3.3. Kütahya ili nispi nem seviyeleri (%)



Şekil 3.4. Eskişehir ili sıcaklık seviyeleri (°C)



Şekil 3.5. Eskişehir ili yağış seviyeleri (mm)

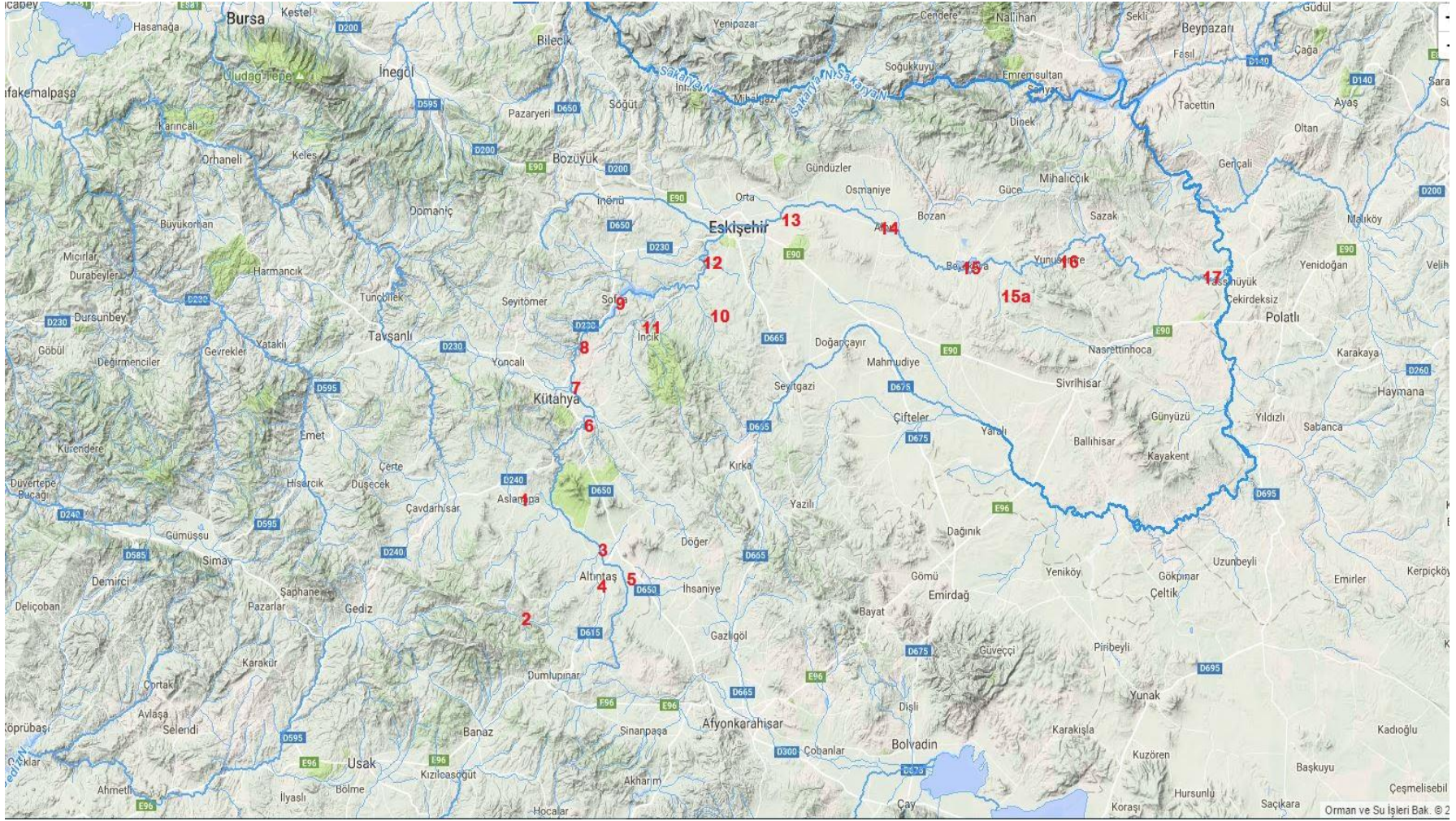


Şekil 3.6. Eskişehir ili nispi nem seviyeleri (%)

Porsuk Çayı'nın kaynağından Sakarya Nehri ile birleştiği yere kadar seçilen 18 istasyondan su örnekleri alınmıştır. Mayıs ayından sonra 15. istasyonun bir kolu olan 15a istasyonundan da örnek alınmaya başlanmıştır. Çalışma güzergahının haritası Şekil 3.7'de ve örnekleme yapılan istasyonların bilgileri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Örnekleme yapılan istasyonların bilgileri

İstasyon	Koordinat	Mevkii
1. İstasyon	35S 0743396 / 4343223	Aslanapa
2. İstasyon	35S 07502961 / 4313505	Murat Dağı
3. İstasyon	36S 0246214 / 4333751	Altıntaş
4. İstasyon	36S 0248704 / 4322345	Çayırhan
5. İstasyon	36S 0248704 / 4322345	Zafer Havaalanı
6. İstasyon	36S 0253575 / 4360439	Kütahya Giriş
7. İstasyon	36S 0248056 / 4372372	Kütahya Çıkış
8. İstasyon	36S 0251199 / 4378256	Porsuk Baraj Giriş
9. İstasyon	36S 0270708 / 4383246	Porsuk Baraj Çıkış
10. İstasyon	36S 0268554 / 4378311	Uluçayır
11. İstasyon	36S 0277680 / 4390249	Kargın
12. İstasyon	36S 280372 / 4402473	Fidanlık
13. İstasyon	36 S 295742 / 4406229	Eskişehir Çıkış
14. İstasyon	36S 0324512 /4401561	Alpu
15. İstasyon	36S 0345989 / 4394505	Beylikova
15a. İstasyon	36S 0355989 / 4494505	Beylikova
16. İstasyon	36S 0369489 / 4395670	Yunusemre
17. İstasyon	36S 0410776 / 4393387	Sakarya Karışım



Şekil 3.7. Çalışma alanı

### 3.2. Deneysel Çalışma

Mayıs 2016 – Nisan 2017 tarihleri arasında, aylık olarak yapılan örnek toplama çalışmalarında Porsuk havzasında belirlenen 18 istasyondan su örnekleri alınmıştır. Ayrıca Porsuk Baraj Gölü'nün trofik seviyesinin belirlenmesi için baraj gölü üzerinde belirlenen 3 istasyondan mevsimsel olarak su örnekleri alınmıştır.

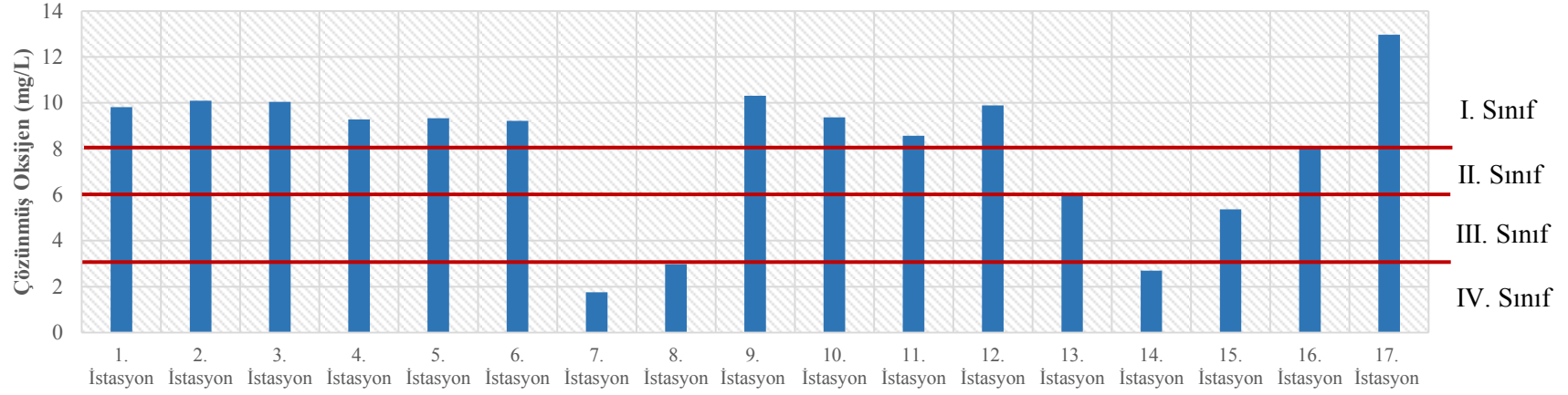
Alınan su örneklerinde pH, sıcaklık ( $^{\circ}$  C), oksijen saturasyonu (%) seviyeleri numune alındığı anda Thermo Orion Star A329 cihazı ile yerinde, toplam nitrat (mg/L), toplam fosfor (mg/L) ve BOİ (mg/L) değerleri uygun koşullarda muhafaza edilerek laboratuvara getirilen örneklerde Hach Lange marka (DR 2800) multi parametre ölçüm cihazı ile, fekal koliform değerleri ise uygun koşullarda muhafaza edilerek laboratuvara getirilen örneklerde En Muhtemel Sayı (EMS) analizi ile tespit edilmiştir (EN ISO 10304-1, EN ISO 10304-2, EN ISO 26777).

## 4. BULGULAR

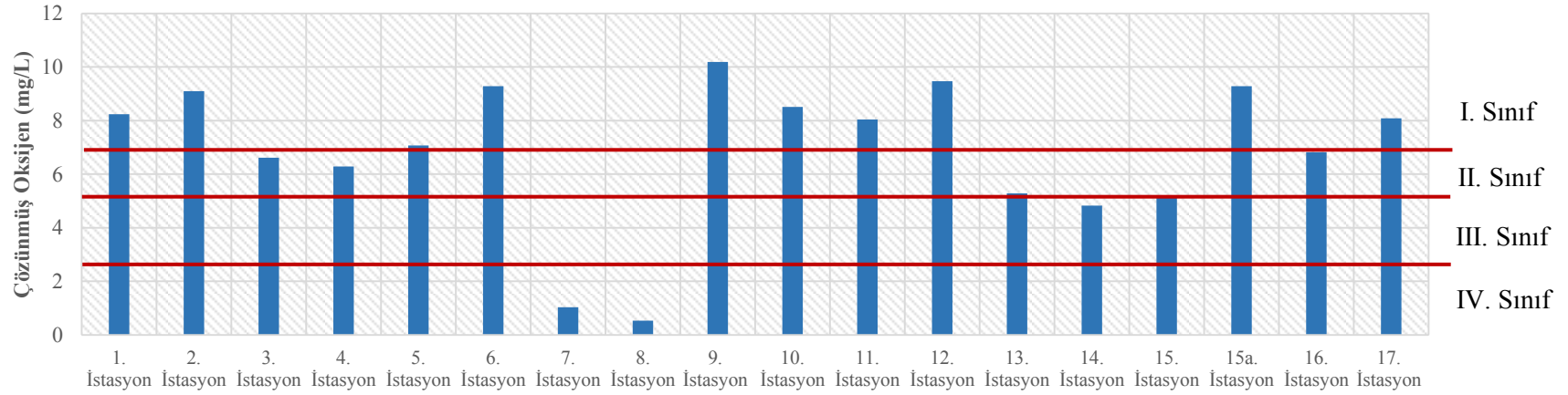
### 4.1. Su Kalite İndeksi

Çalışma kapsamında Porsuk Havzasından alınan su örneklerinde sıcaklık, pH, bulanıklık, fekal koliform (En Muhtemel Sayı Yöntemi), çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, toplam fosfat, toplam nitrat analizleri yapılarak Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre ve NSFQI (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi) metodu ile Eşitlik 2.1 kullanılarak su kalite indeksi hesaplanarak değerlendirilmiştir (Bonanno ve Giudice, 2010; CCME, 2001; Tyagi ve ark., 2013).

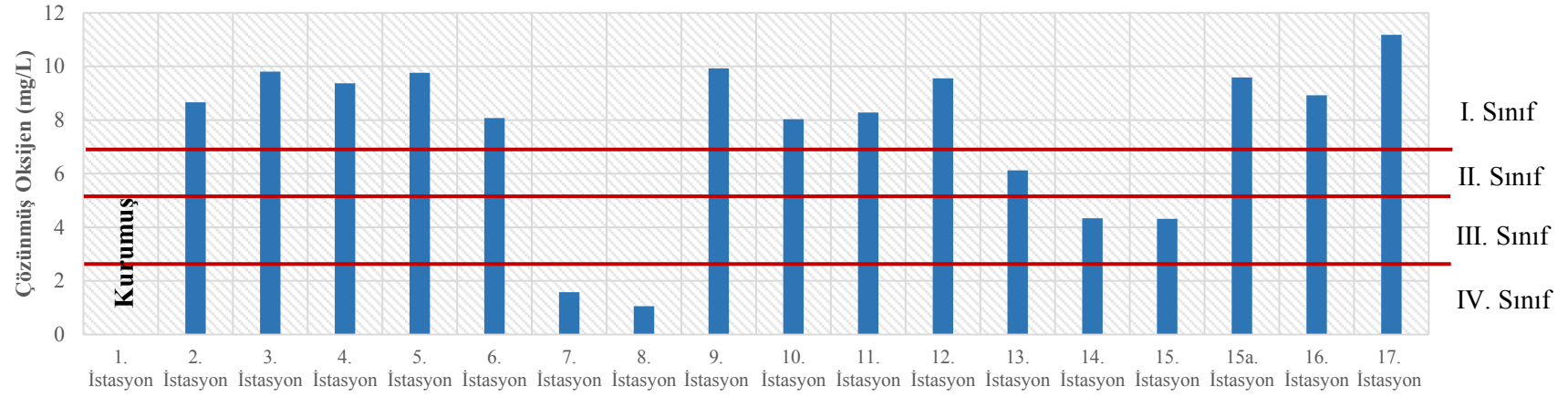
NSFQI (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi) metodunda kullanılan derecelendirmeler Çizelge 4.1'de verilmiştir. Analizi gerçekleştirilen yüzeysel su örneklerinin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre değerlendirmeleri Şekil 4.1 – 4.102'de ve NSFQI (Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalitesi İndeksi) metoduna göre aylık olarak değerlendirmeleri Şekil 4.103 – 4.114'de verilmiştir.



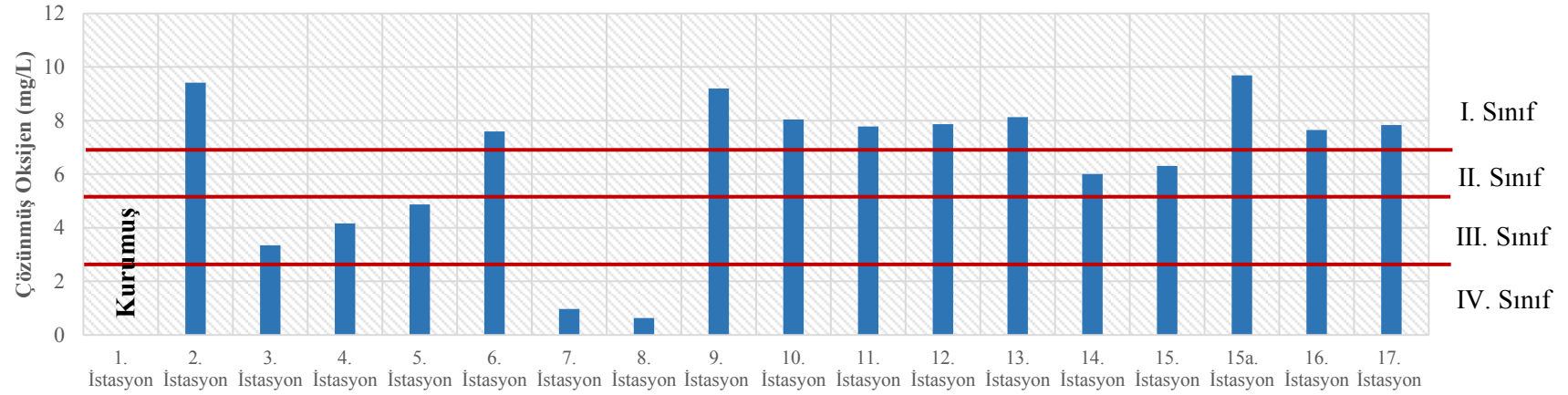
Şekil 4.1. Mayıs 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)



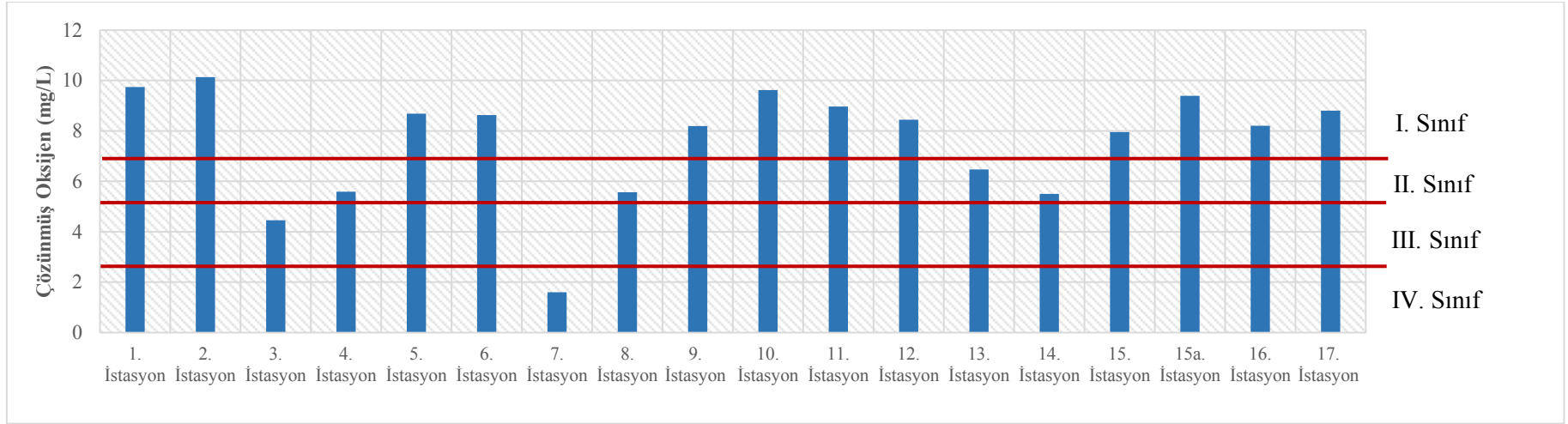
Şekil 4.2. Haziran 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)



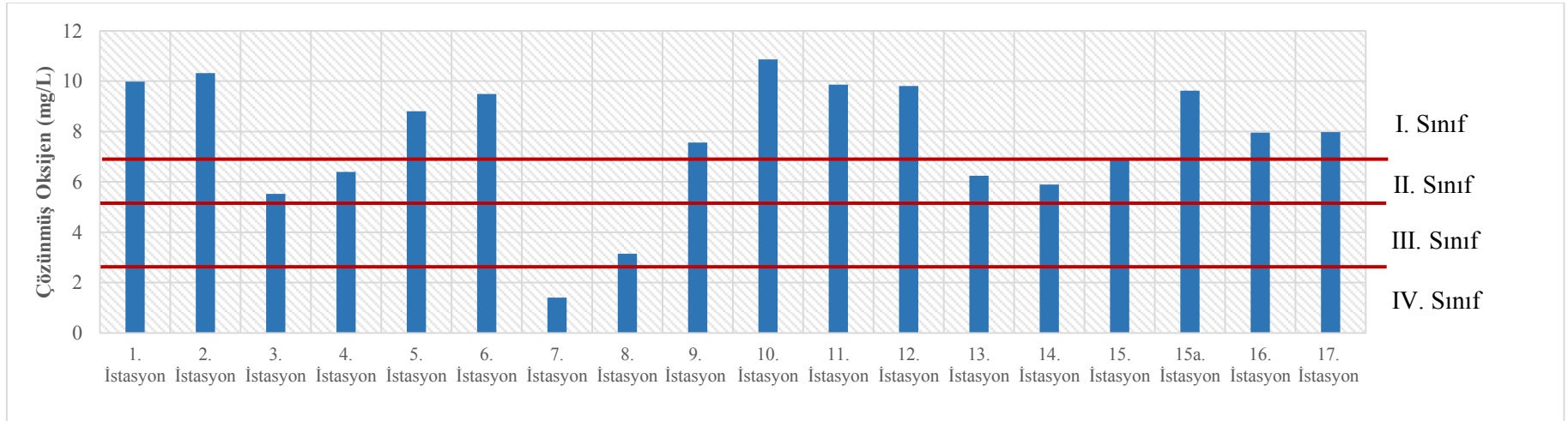
Şekil 4.3. Temmuz 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)



Şekil 4.4. Ağustos 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)

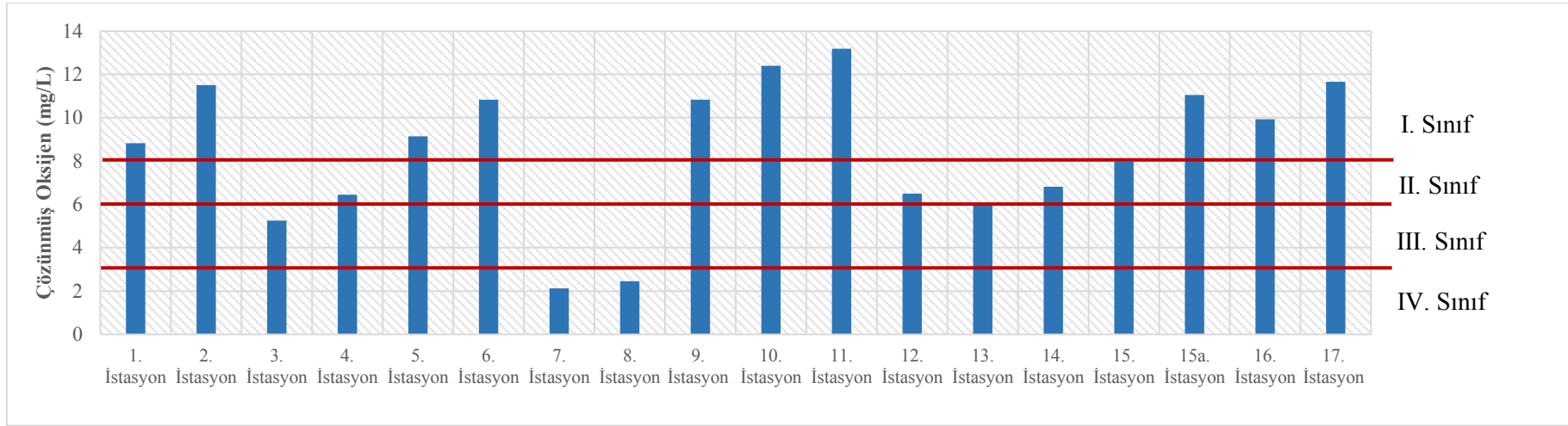


Şekil 4.5. Eylül 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)

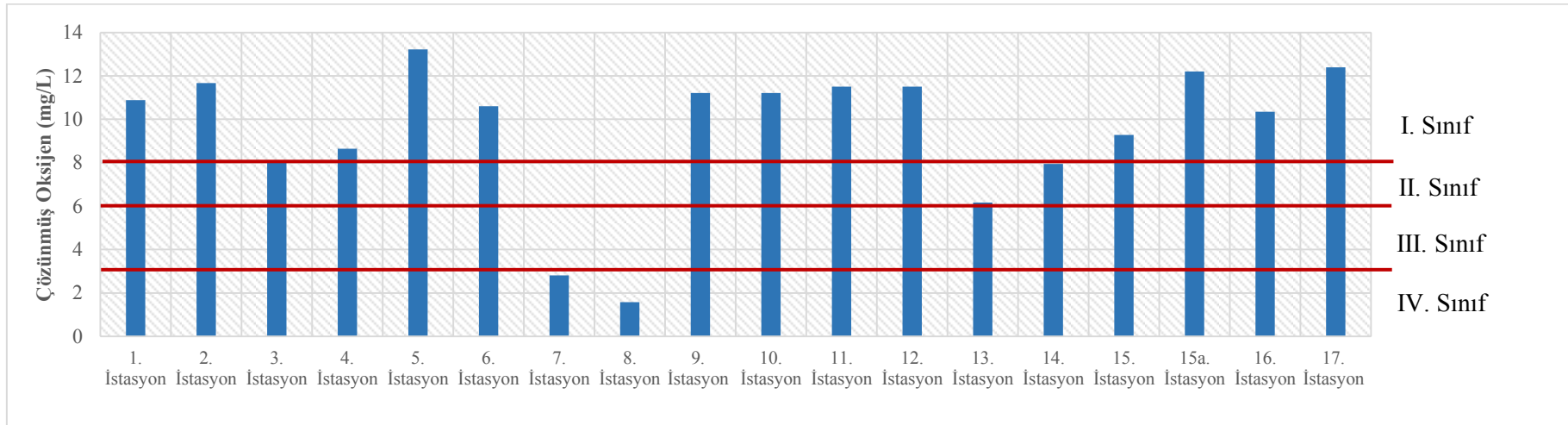


Şekil 4.6. Ekim 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)

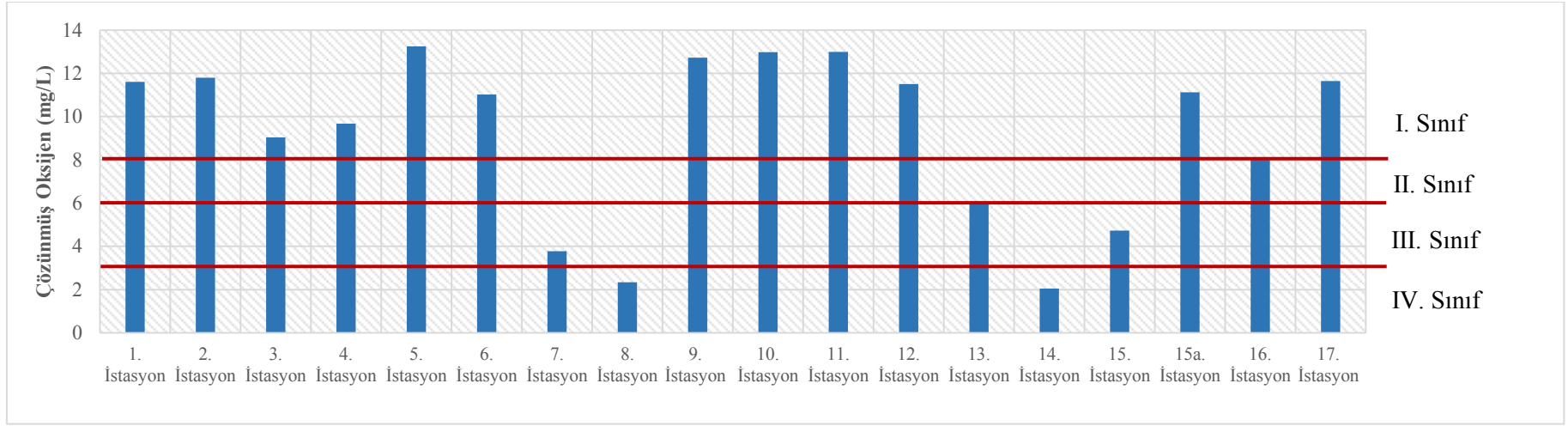




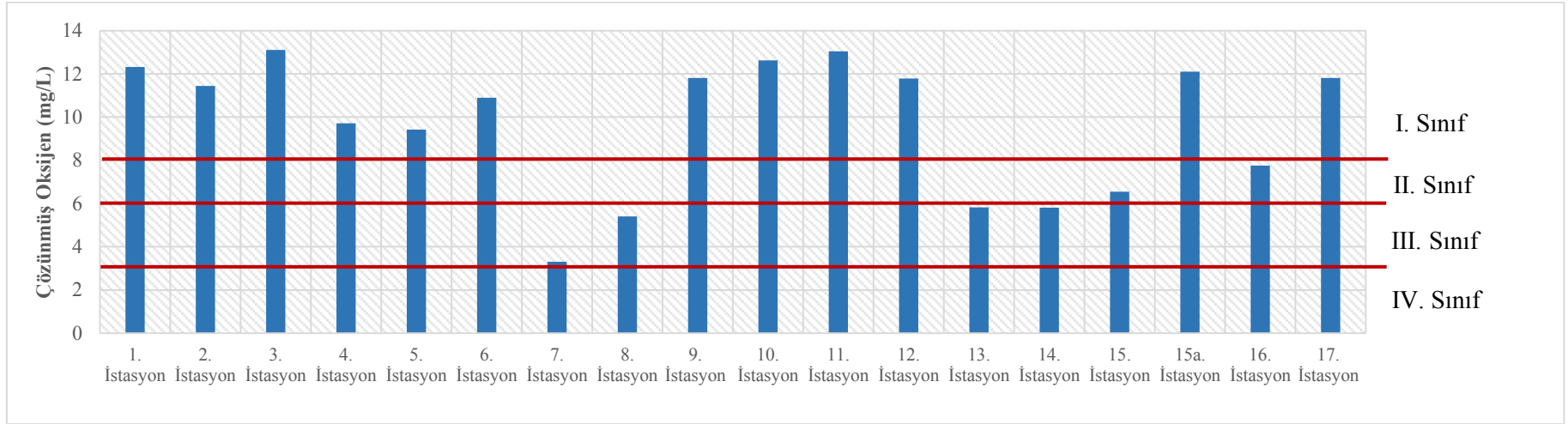
Şekil 4.7. Kasım 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)



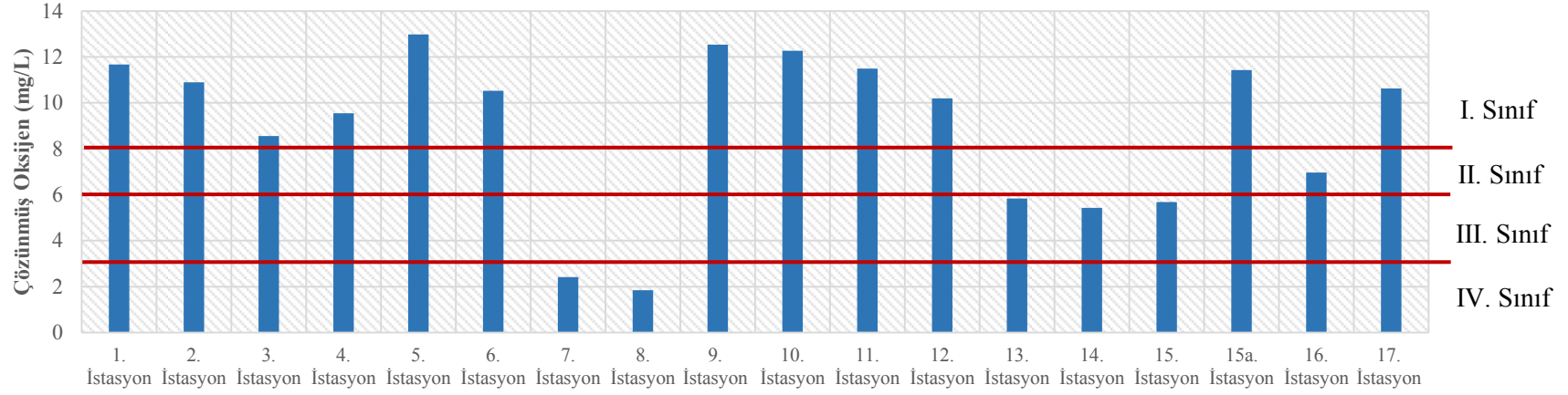
Şekil 4.8. Aralık 2016 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)



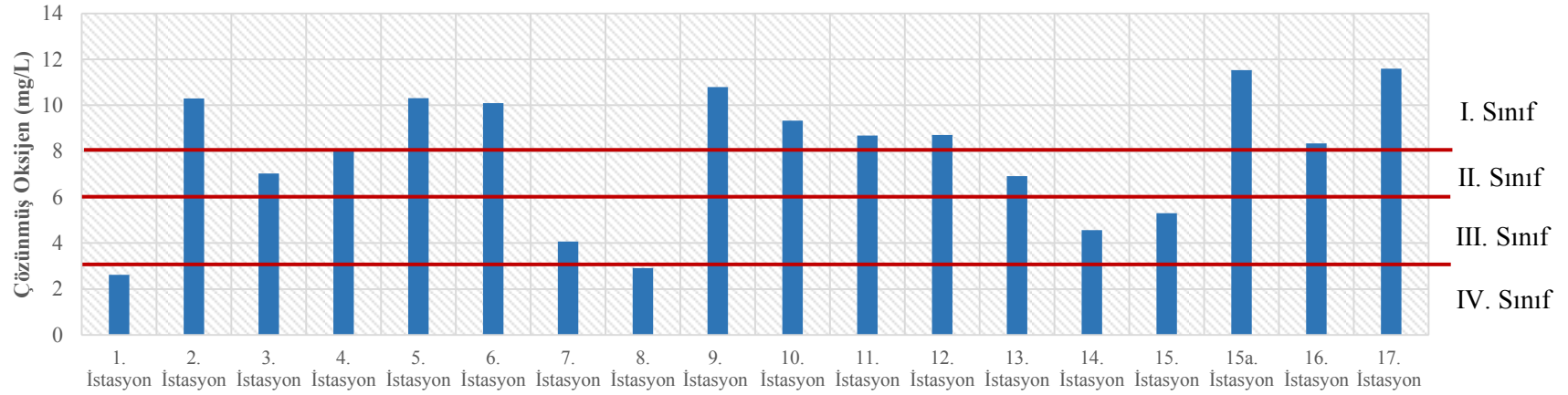
Şekil 4.9. Ocak 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)



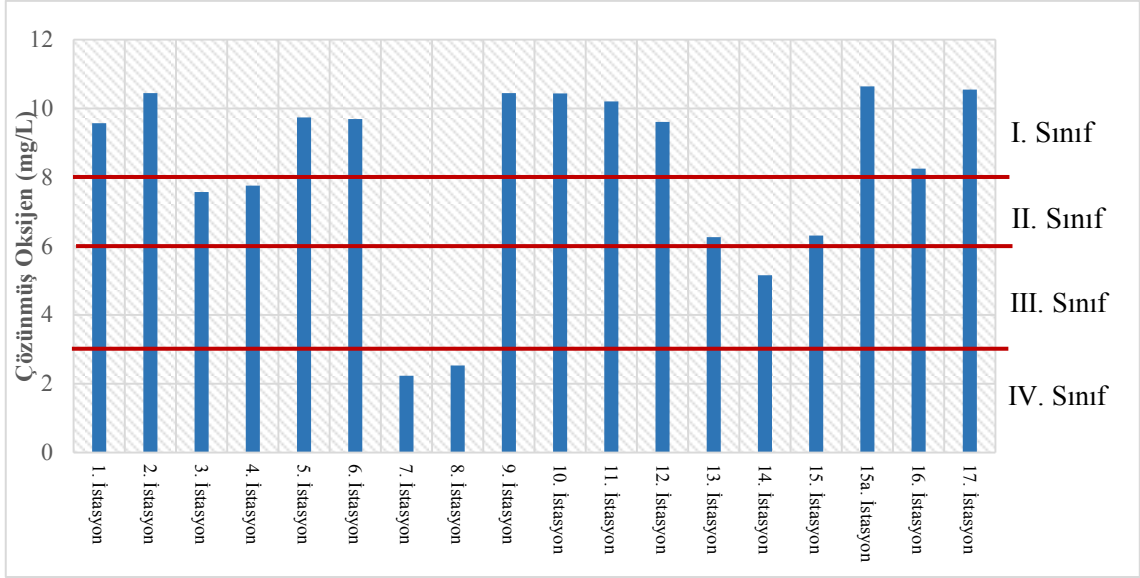
Şekil 4.10. Şubat 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)



Şekil 4.11. Mart 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)

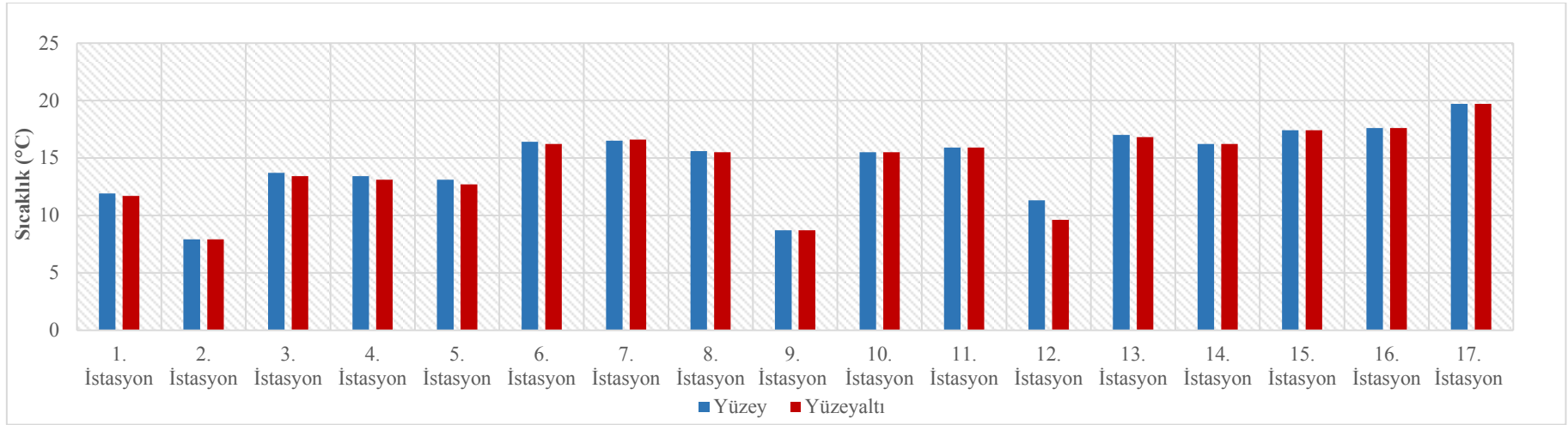


Şekil 4.12. Nisan 2017 çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)

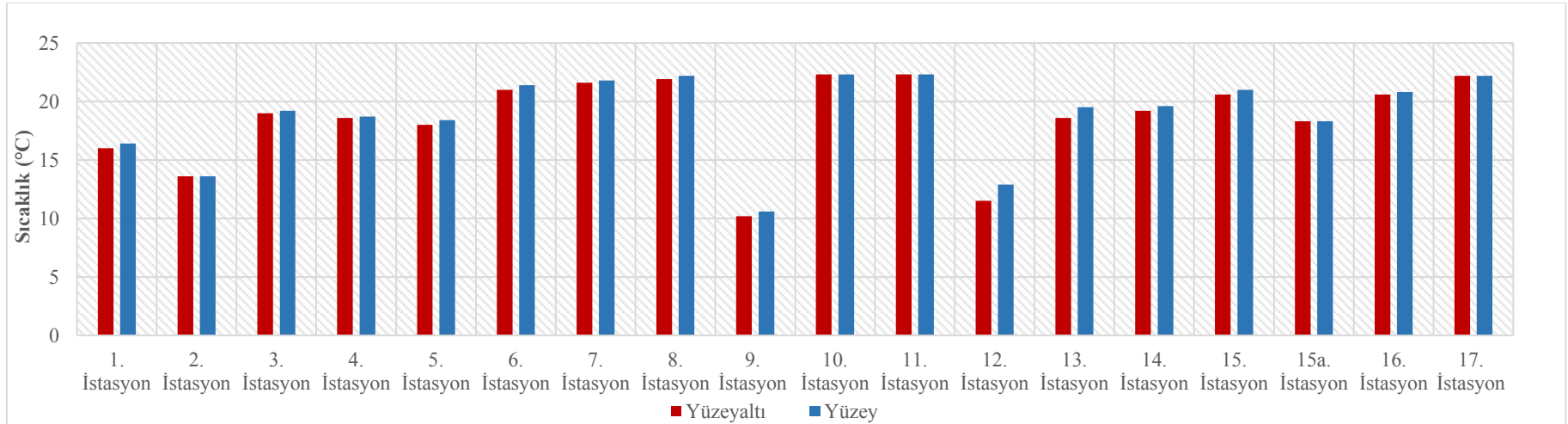


**Şekil 4.13.** Yıllık ortalama çözünmüş oksijen seviyeleri (mg/L)

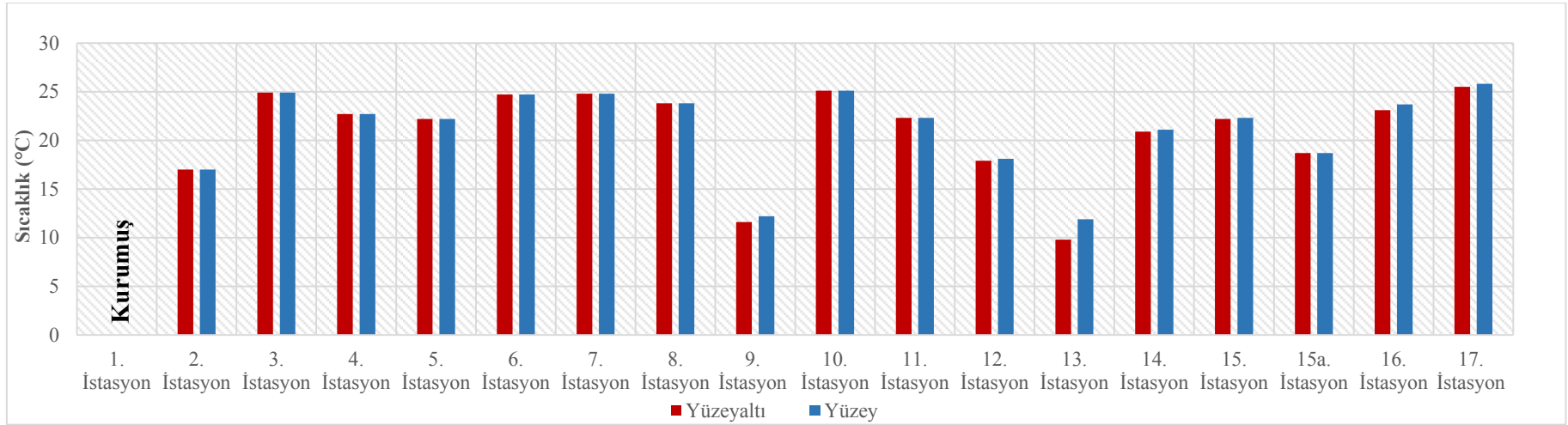
Yapılan çalışmada 2016 yılı Mayıs ayında, çözünmüş oksijen konsantrasyonunun en yüksek 17. istasyonda (12,97 mg/L), en düşük ise 7. istasyonda (1,76 mg/L) olduğu belirlenmiştir. Mayıs ayında 7, 8 ve 14. istasyonların Yersütü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 4. Sınıf, 15. istasyonun 3. Sınıf ve diğer tüm istasyonların 1. Sınıf olduğu saptanmıştır (Şekil 4.1). Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Kasım, Aralık ve Mart aylarında da Mayıs ayında olduğu gibi 7 ve 8. istasyonların 4. Sınıf olduğu görülmektedir. Hem yıllık ortalama değerlerine hem de aylık değerlere bakıldığında 7 ve 8. istasyonun Yersütü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 4. Sınıf olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde yıl boyu ayların çoğunda olduğu gibi 1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15a ve 17. istasyonların ise 1. Sınıf olduğu görülmektedir (Şekil 4.13).



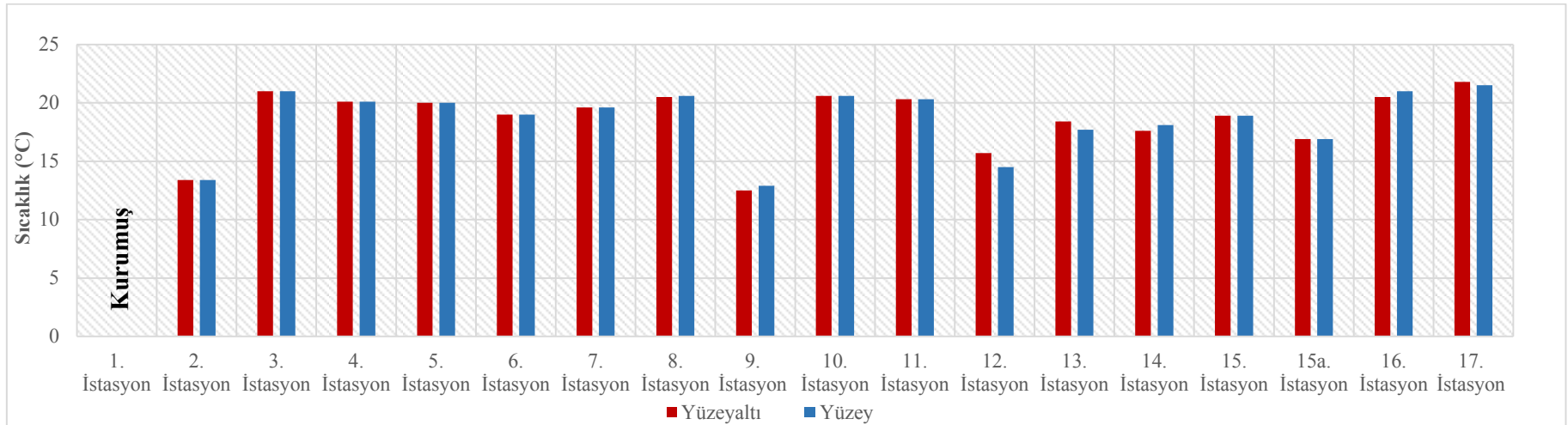
Şekil 4.14. Mayıs 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)



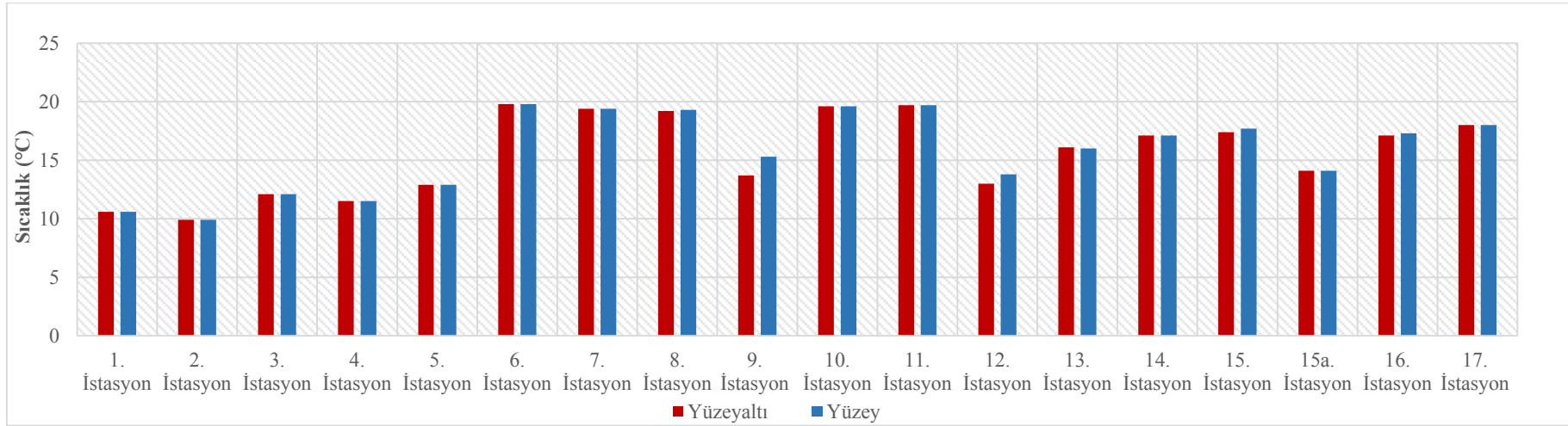
Şekil 4.15. Haziran 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)



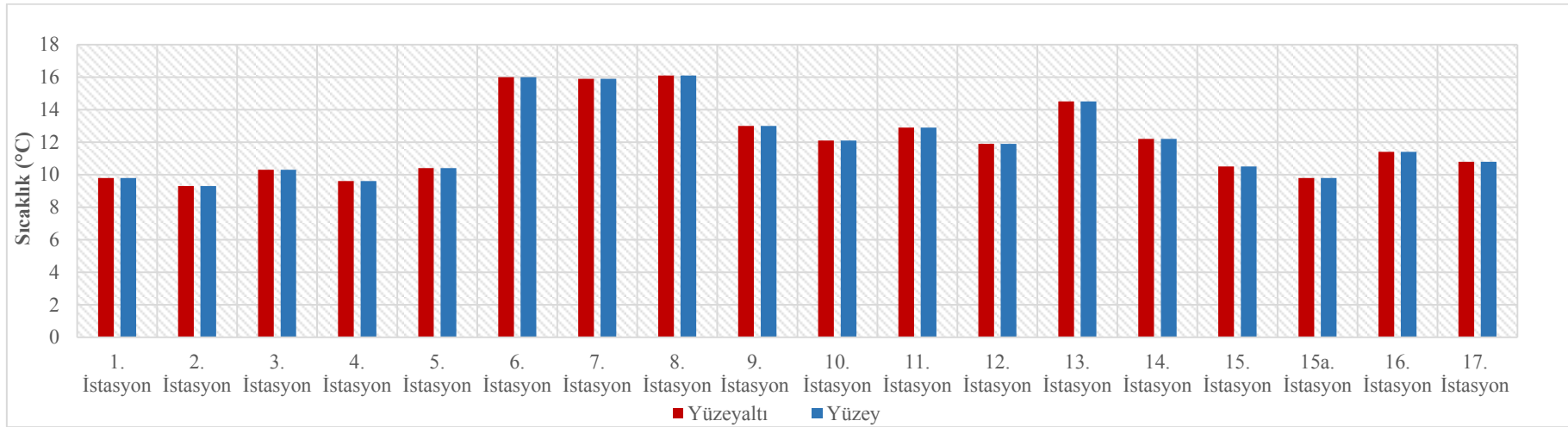
Şekil 4.16. Temmuz 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)



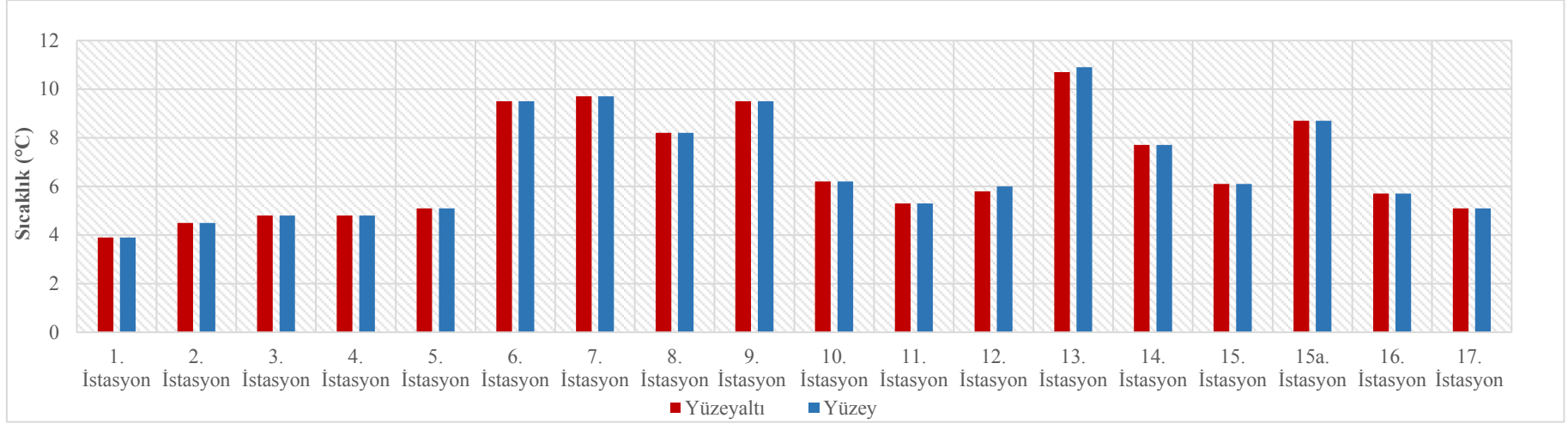
Şekil 4.17. Ağustos 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)



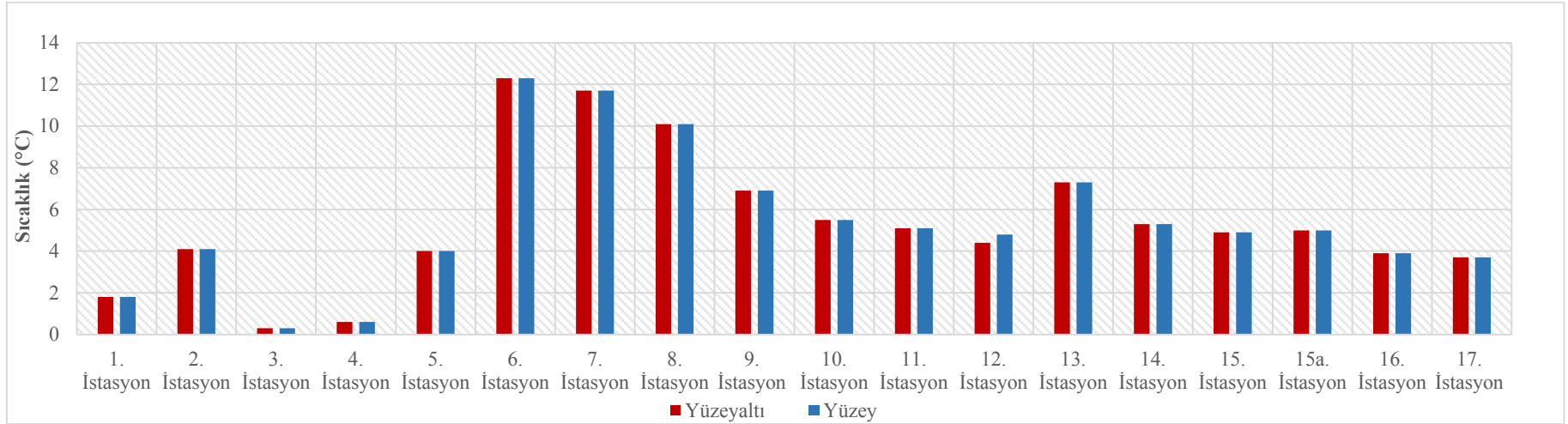
Şekil 4.18. Eylül 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)



Şekil 4.19. Ekim 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)

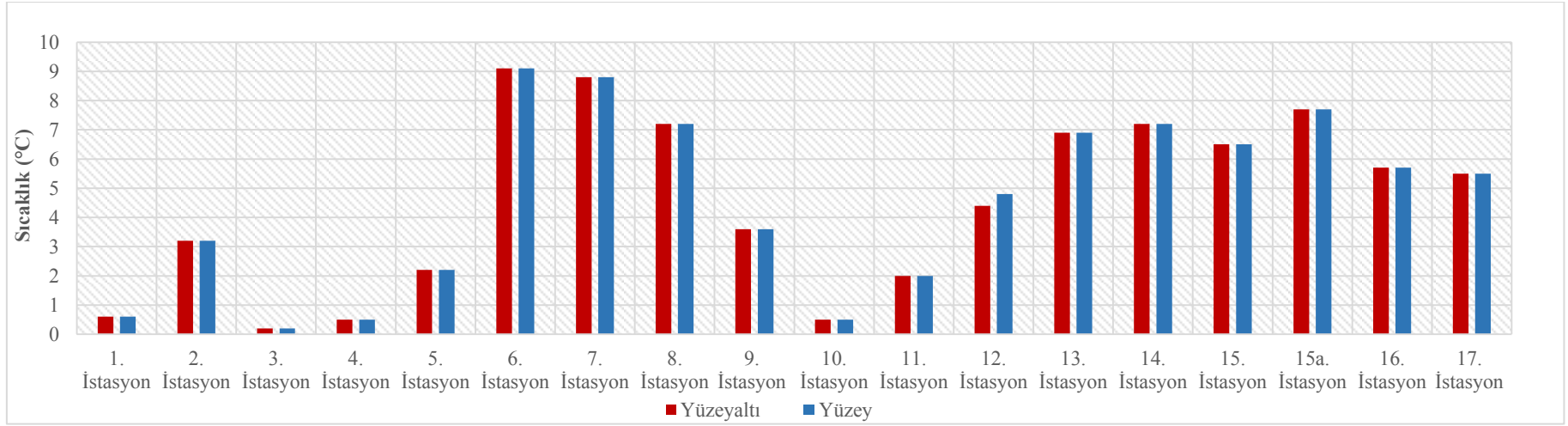


Şekil 4.20. Kasım 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)

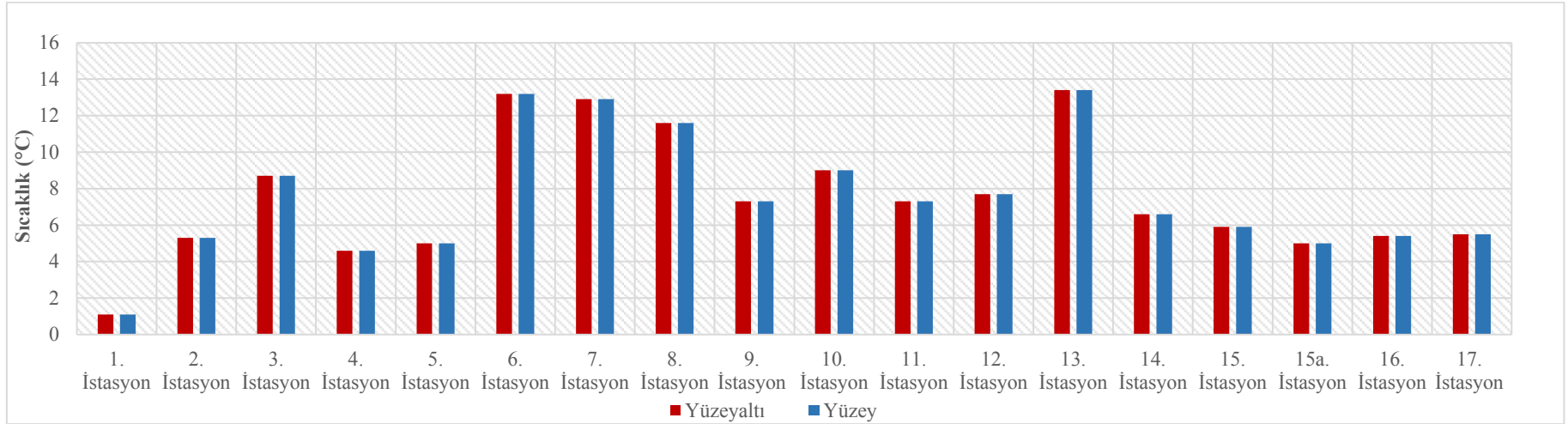


Şekil 4.21. Aralık 2016 sıcaklık seviyeleri (°C)

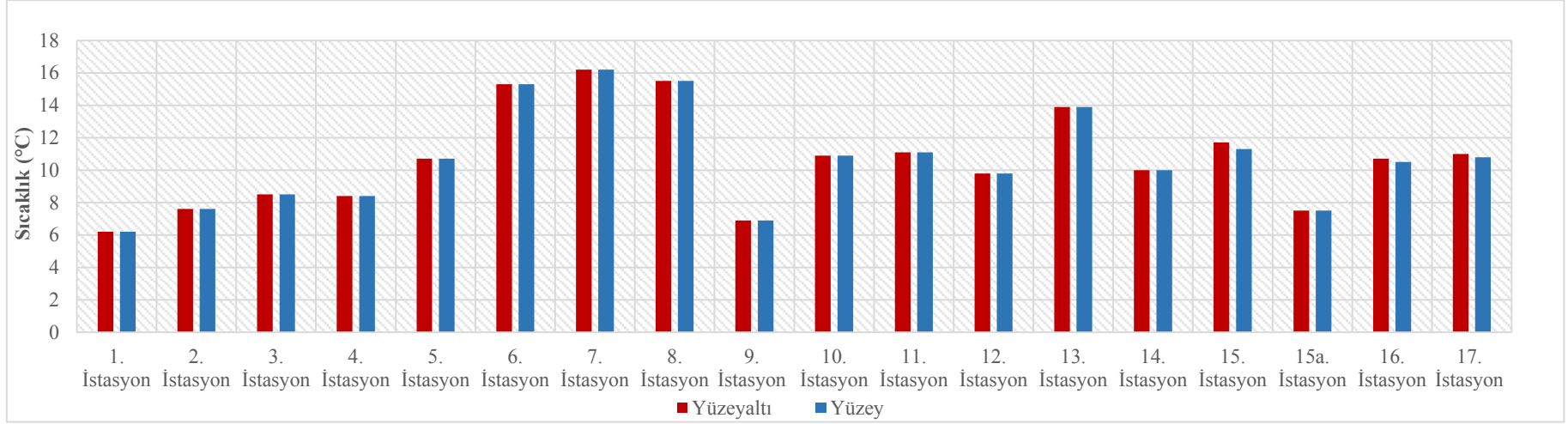




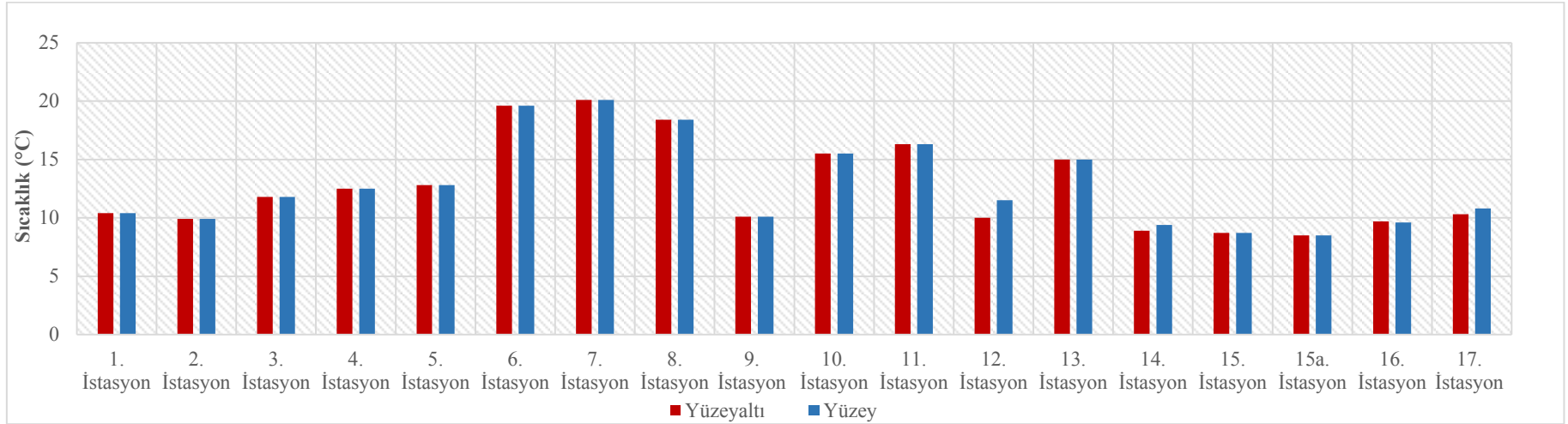
Şekil 4.22. Ocak 2017 sıcaklık seviyeleri (°C)



Şekil 4.23. Şubat 2017 sıcaklık seviyeleri (°C)

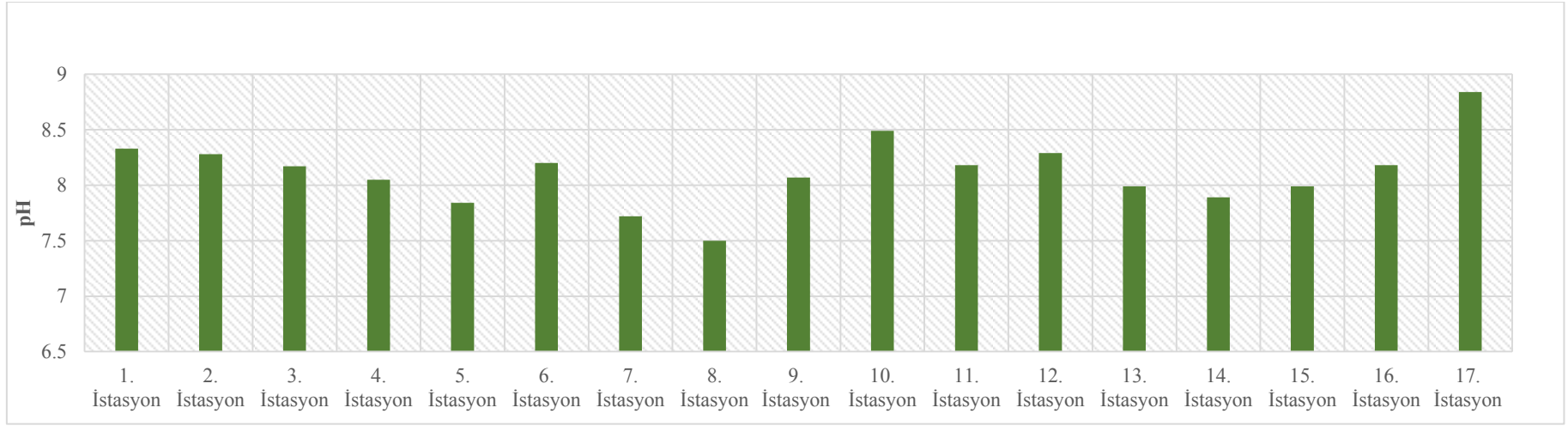


Şekil 4.24. Mart 2017 sıcaklık seviyeleri (°C)

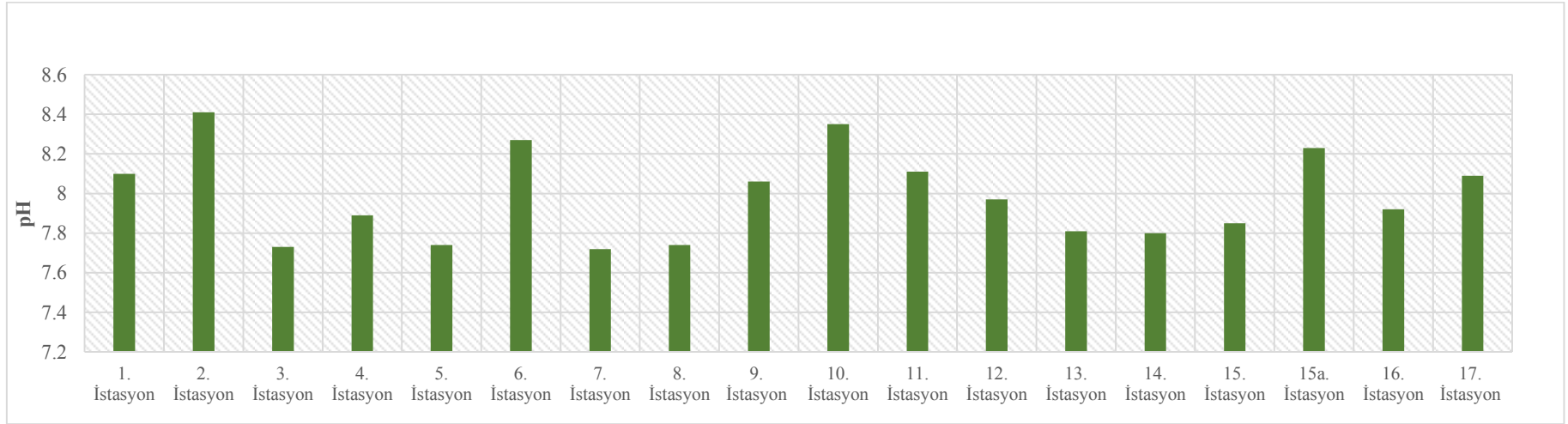


Şekil 4.25. Nisan 2017 sıcaklık seviyeleri (°C)

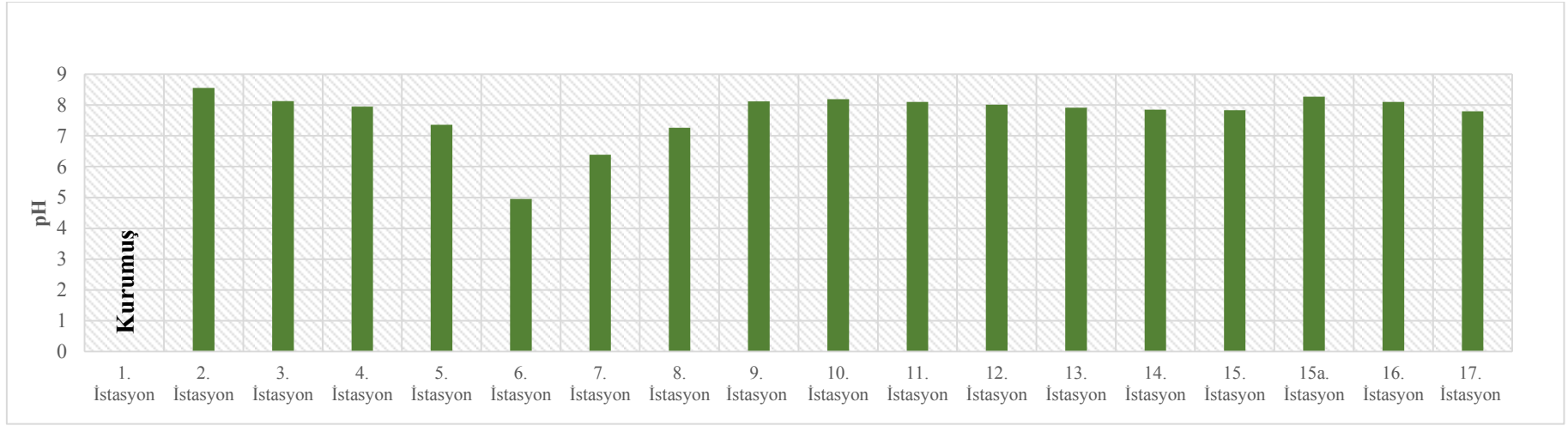
2016 yılı Mayıs ayında, en yüksek sıcaklık seviyesi 17. istasyonda (19,7 °C), en düşük sıcaklık seviyesi 2. istasyonda (7,9 °C) belirlenmiştir (Şekil 4.14). Haziran ayında en yüksek sıcaklık seviyesi 22,3 °C olarak 10 ve 11. istasyonlarda, en düşük ise 10,2 °C olarak 9. istasyonda belirlenmiştir (Şekil 4.15). Temmuz ve Ağustos aylarında 1. istasyon kurduğu ve yeterli miktarda su bulunmadığı için örnek alınamamıştır. Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek sıcaklık 17. istasyonda tespit edilmiştir. Eylül ayında en yüksek sıcaklık 6. istasyonda (19,8 °C), en düşük ise 2. istasyonda (9,9 °C) ölçülmüştür (Şekil 4.18). Ekim ayında en yüksek sıcaklık 6,1 °C olarak 8. istasyonda, en düşük sıcaklık 9,3 °C olarak 2. istasyonda belirlenmiştir (Şekil 4.19). Kasım ayında en yüksek sıcaklık 10,7 °C olarak 12. istasyonda ölçülürken, en düşük 3,9 °C olarak 1. istasyonda ölçülmüştür (Şekil 4.20). Aralık ve Ocak aylarında en yüksek sıcaklık 2. istasyonda belirlenirken, en düşük sıcaklık 3. istasyonda belirlenmiştir. Şubat ayında en yüksek sıcaklık 13,4 °C ile 13. istasyonda, en düşük ise 1,1 °C ile 1. istasyonda tespit edilmiştir. Mart ve Nisan aylarında en yüksek sıcaklık seviyesi 7. istasyonda belirlenmiştir. Yıl içerisinde yüzey ve yüzeyaltı sıcaklıkları çok farklılık göstermezken, en büyük sıcaklık farkı 1,7 °C ile 2016 yılı Mayıs ayında 12. istasyonda belirlenmiştir.



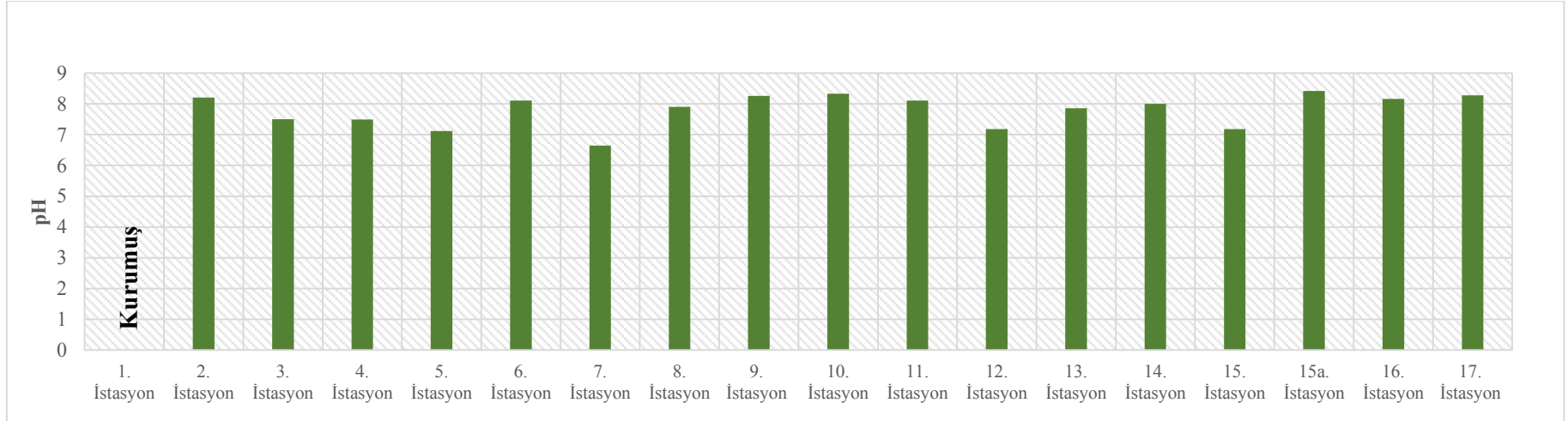
Şekil 4.26. Mayıs 2016 pH seviyeleri



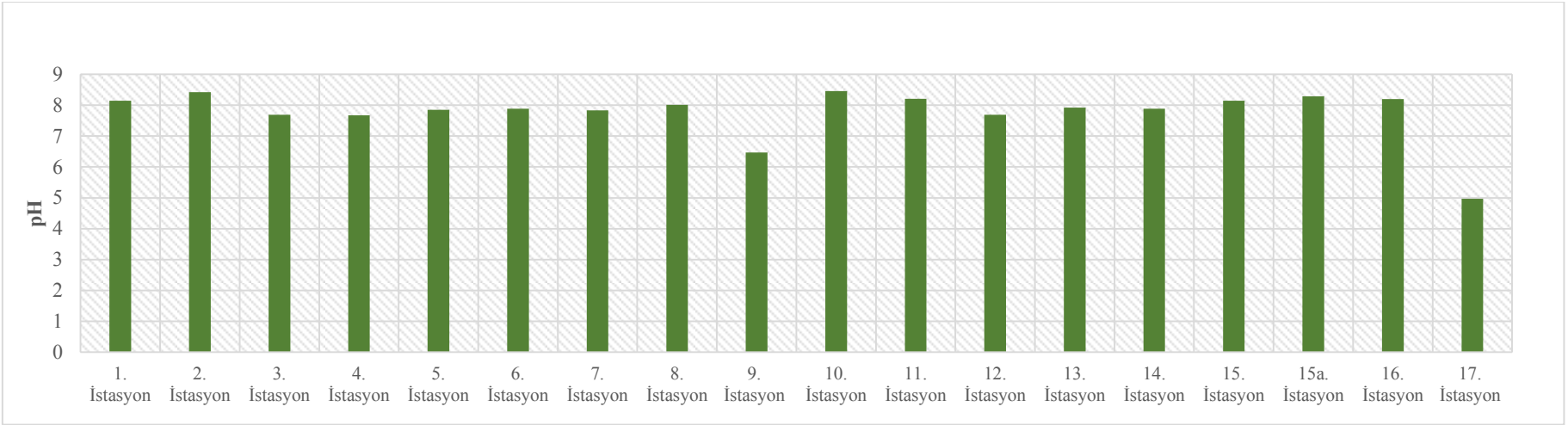
Şekil 4.27. Haziran 2016 pH seviyeleri



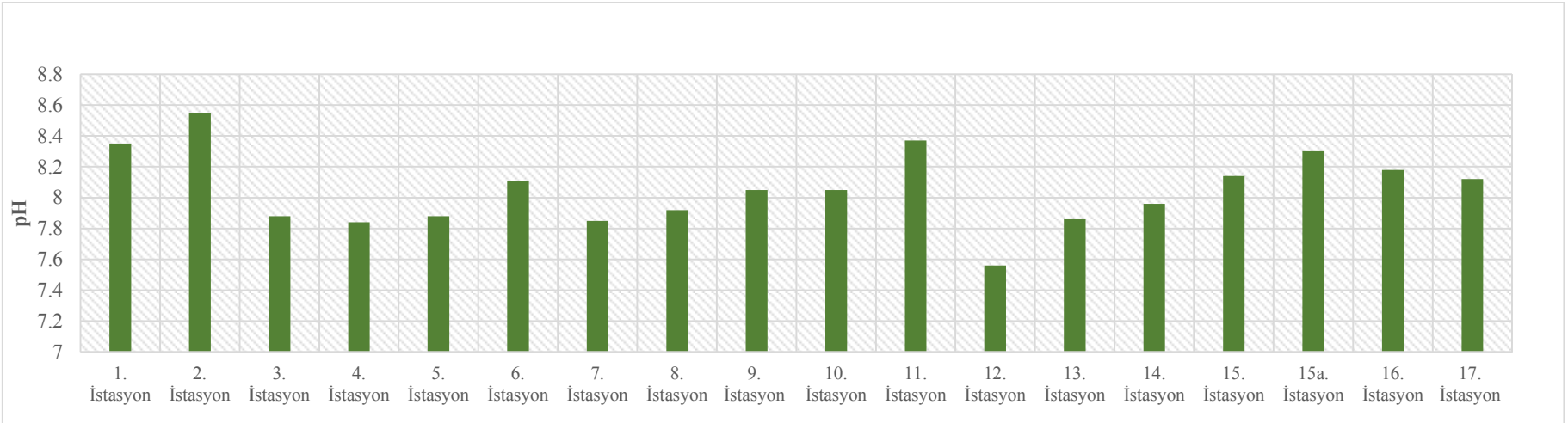
Şekil 4.28. Temmuz 2016 pH seviyeleri



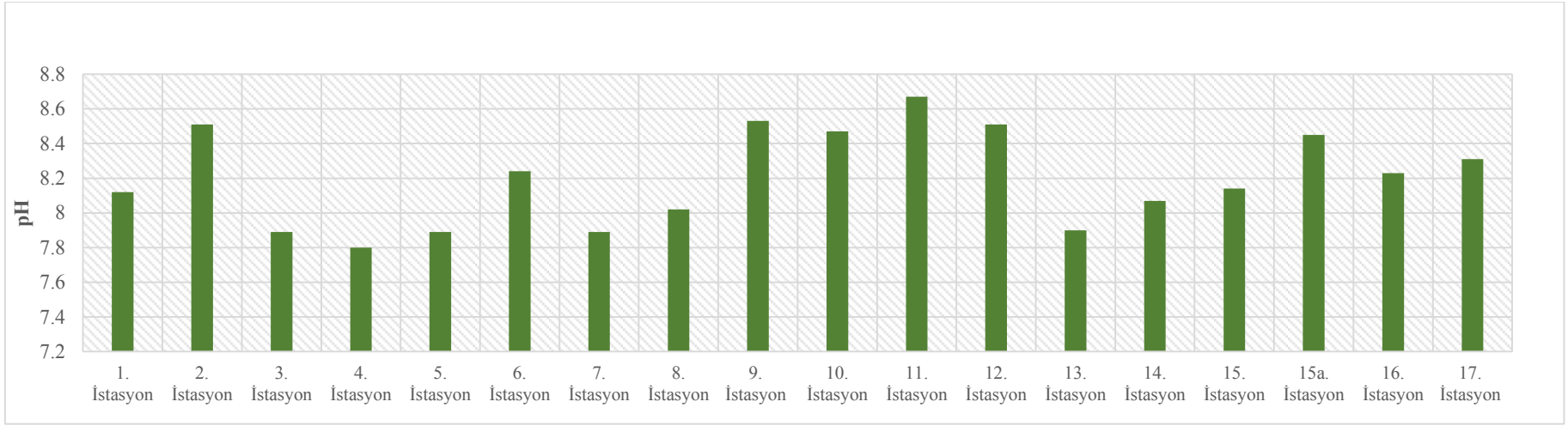
Şekil 4.29. Ağustos 2016 pH seviyeleri



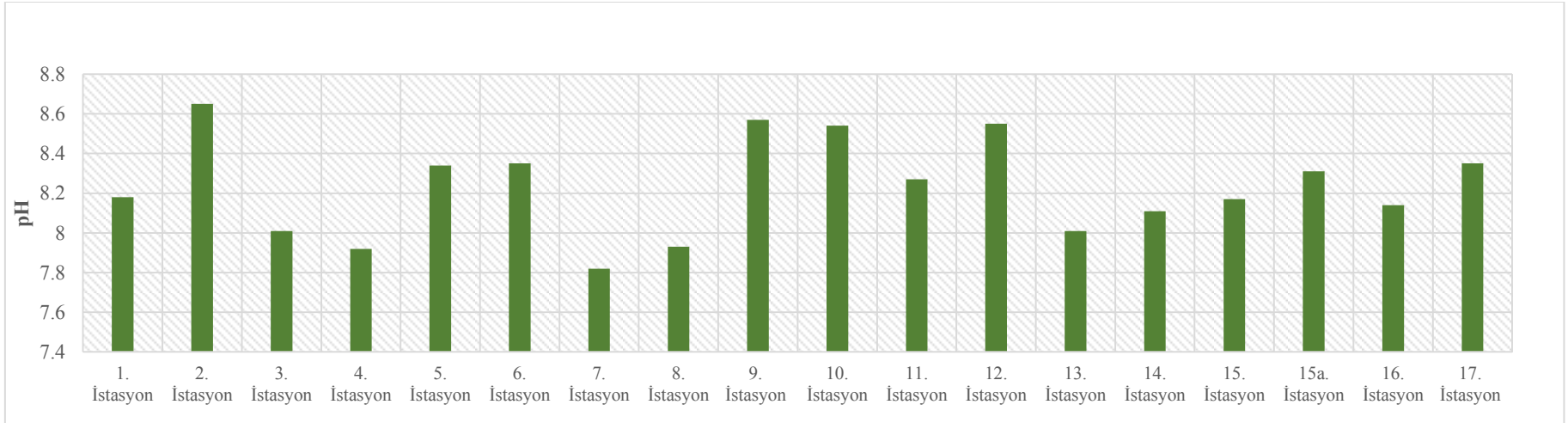
Şekil 4.30. Eylül 2016 pH seviyeleri



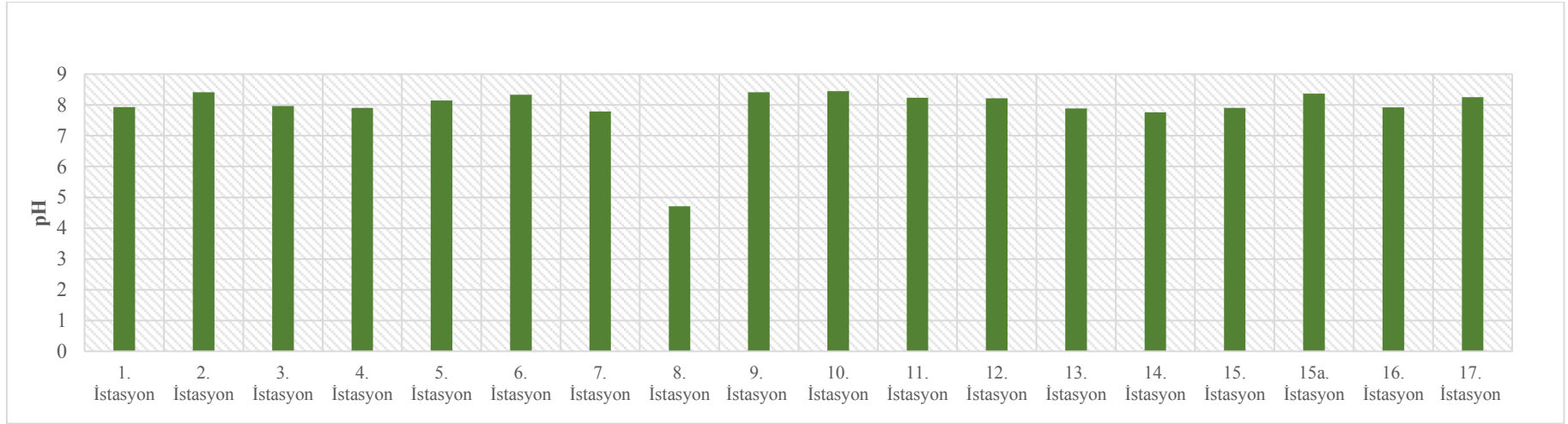
Şekil 4.31. Ekim 2016 pH seviyeleri



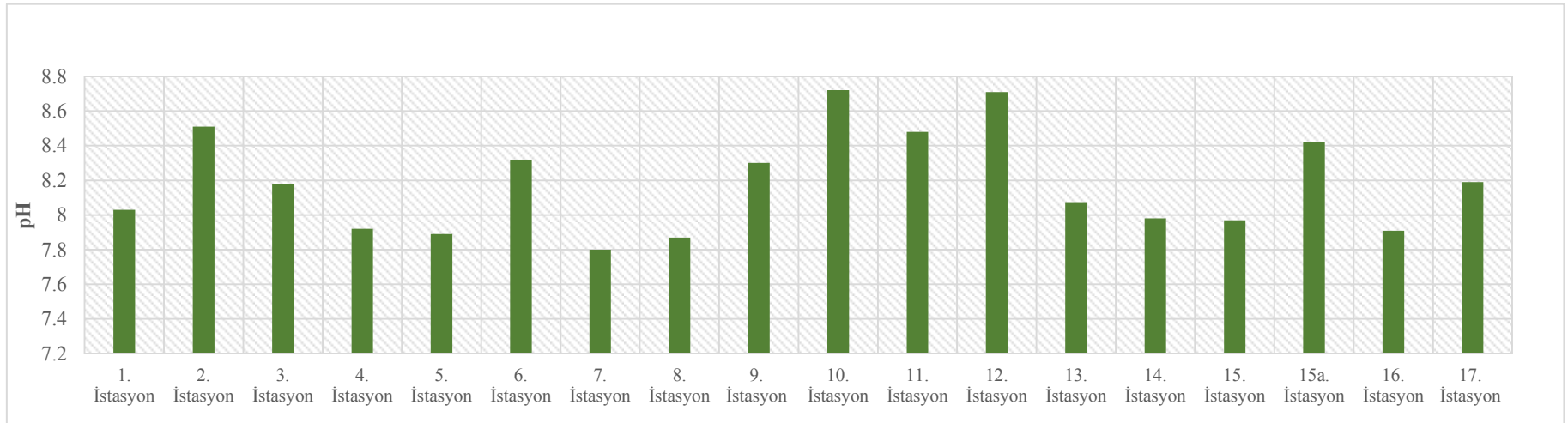
Şekil 4.32. Kasım 2016 pH seviyeleri



Şekil 4.33. Aralık 2016 pH seviyeleri

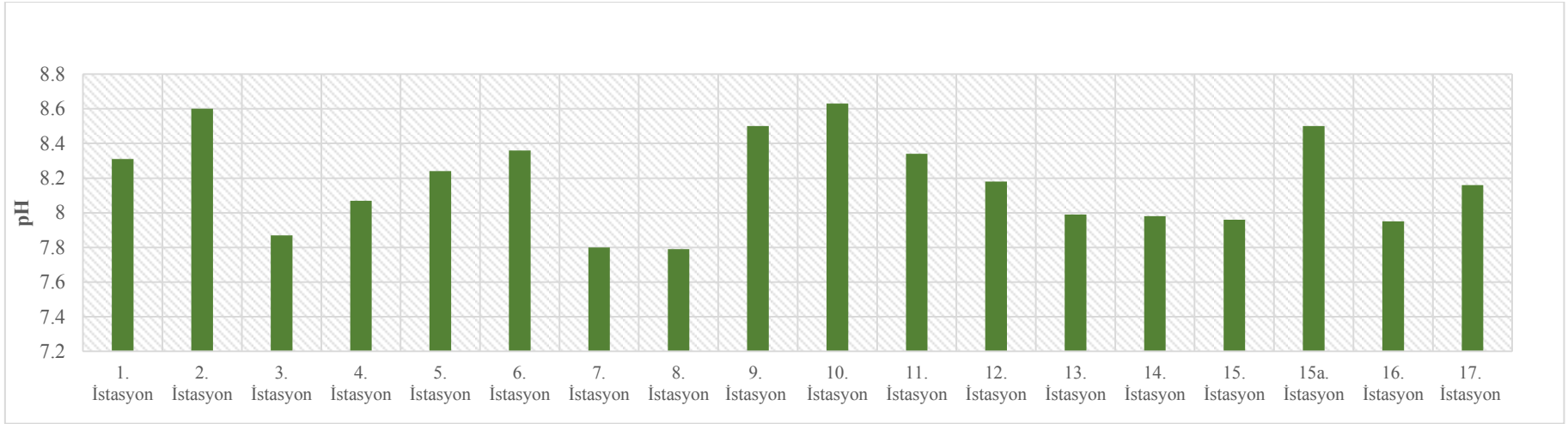


Şekil 4.34. Ocak 2017 pH seviyeleri

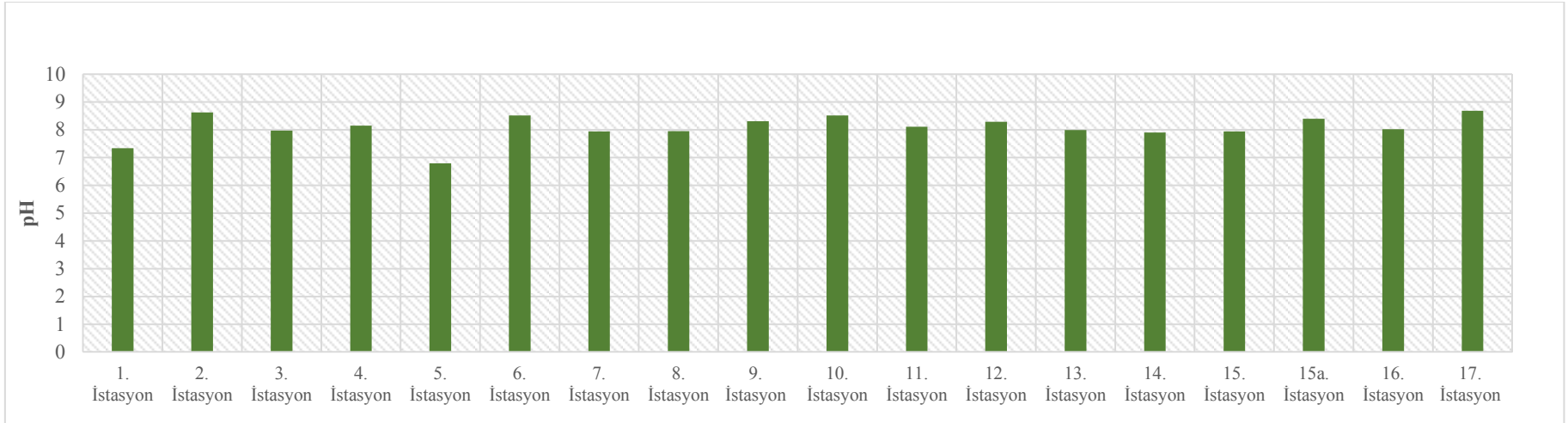


Şekil 4.35. Şubat 2017 pH seviyeleri

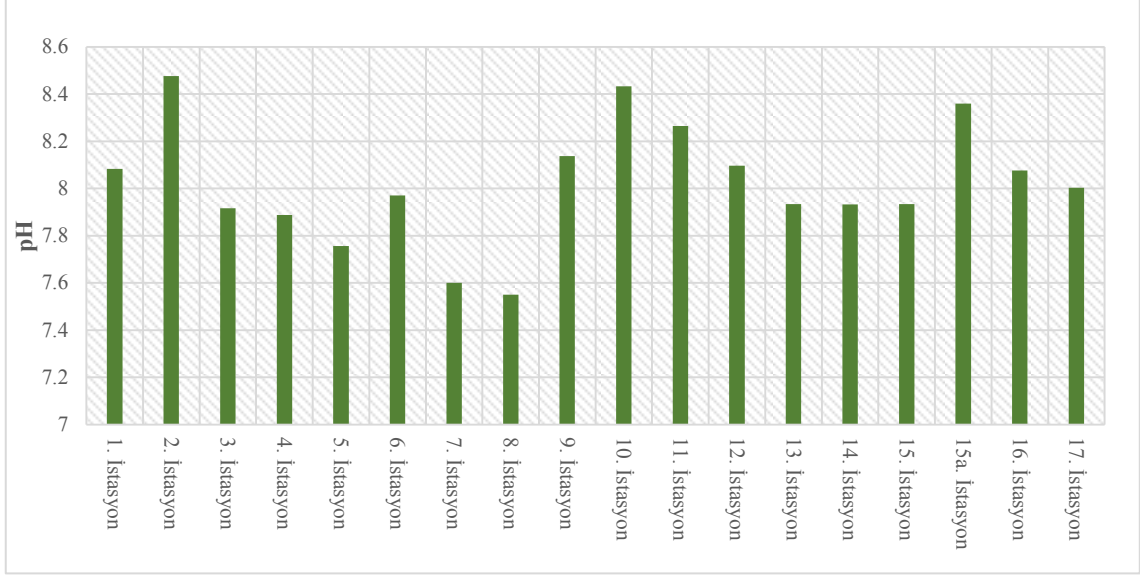




Şekil 4.36. Mart 2017 pH seviyeleri

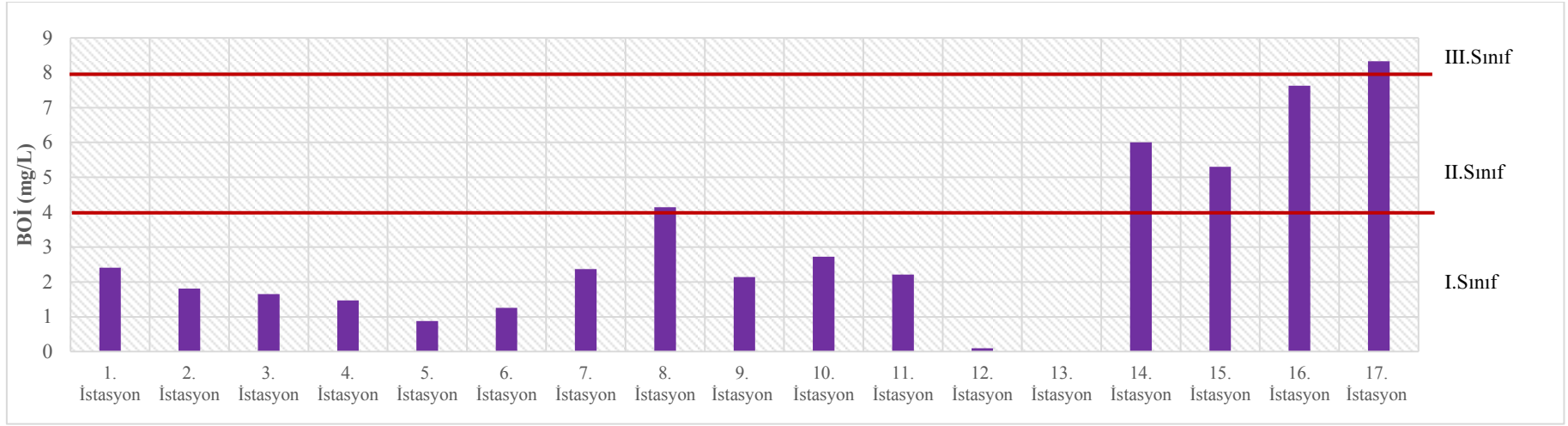


Şekil 4.37. Nisan 2017 pH seviyeleri

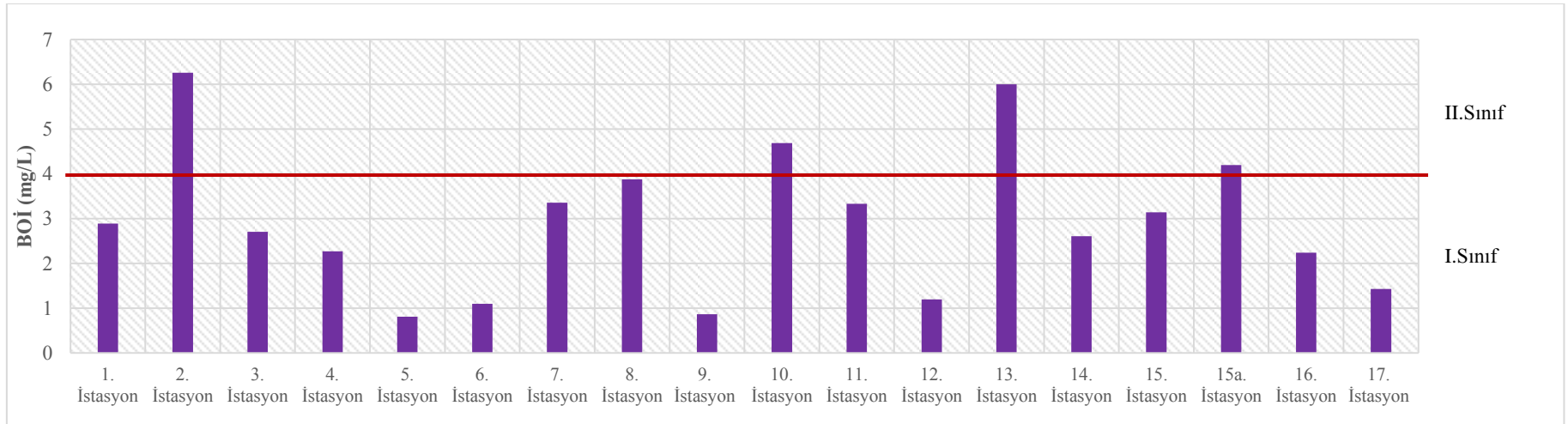


**Şekil 4.38.** Yıllık ortalama pH seviyeleri

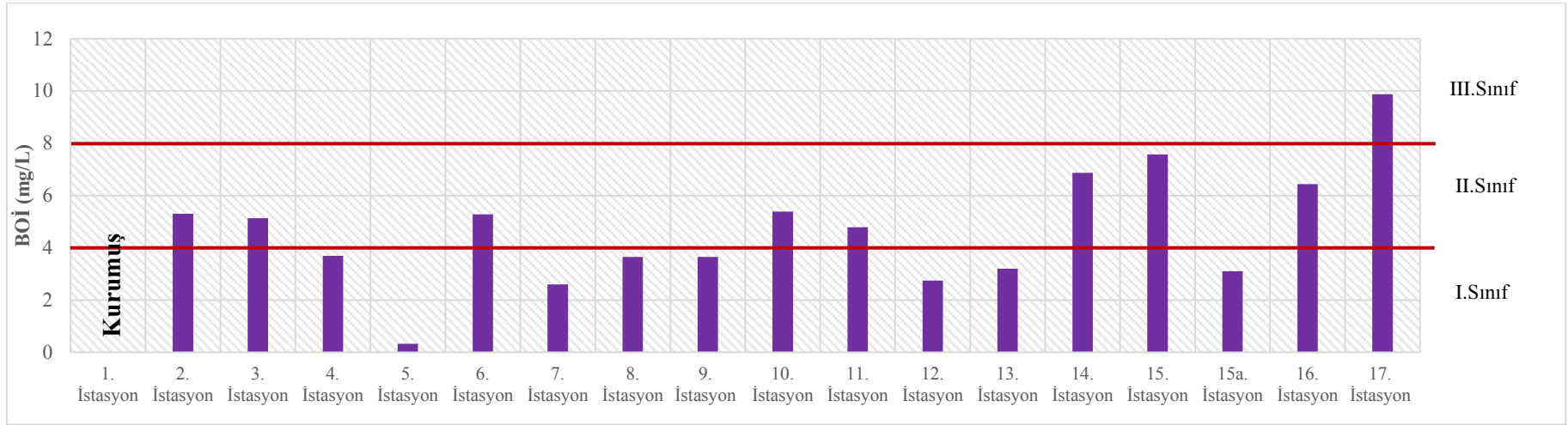
Yapılan analizler sonucu tüm aylarda ve tüm istasyonlarda pH değerlerinin 4,71 ile 8,84 arasında değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre pH değeri tüm kalite sınıfları için 6 - 9 arasında, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2013) ve EU (2014)'de ise 6,5 – 9,5 arasında belirtilmiştir. En düşük pH seviyesinin 4,71 ile 2017 yılı Ocak ayında, en yüksek ise 8,84 ile 2016 yılı Mayıs ayında tespit edilmiştir. Tüm aylarda pH seviyesinin mevzuatlarda belirtilen maksimum değerleri aşmadığı görülürken, Temmuz ayında 6. istasyonun, Eylül ayında 17. istasyonun ve Ocak ayında 8. istasyonun ise minimum değerlerin altında kaldığı görülmüştür.



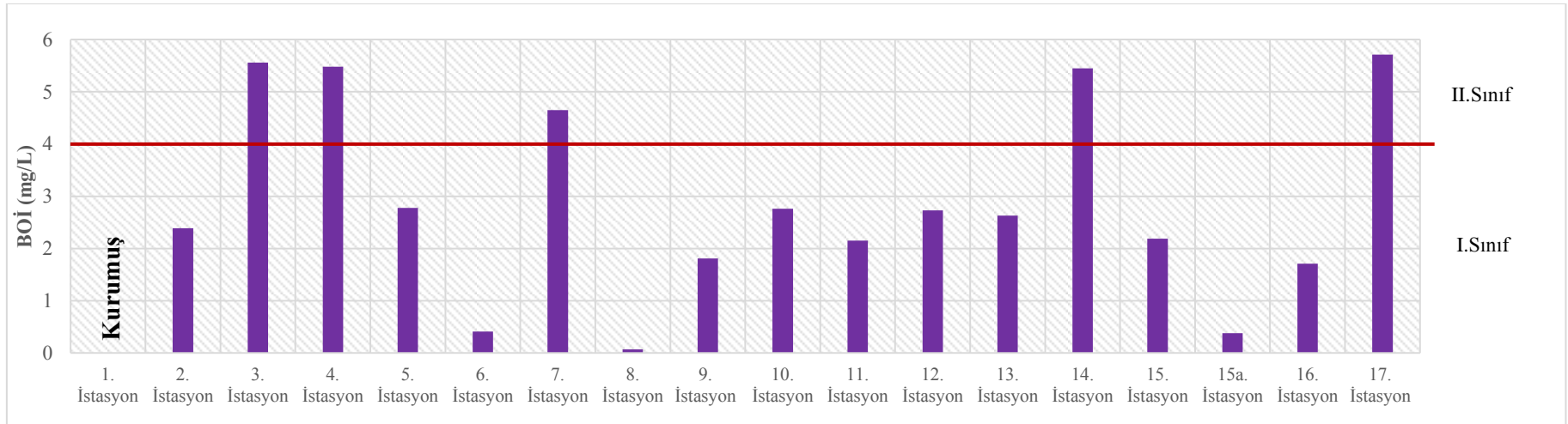
Şekil 4.39. Mayıs 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



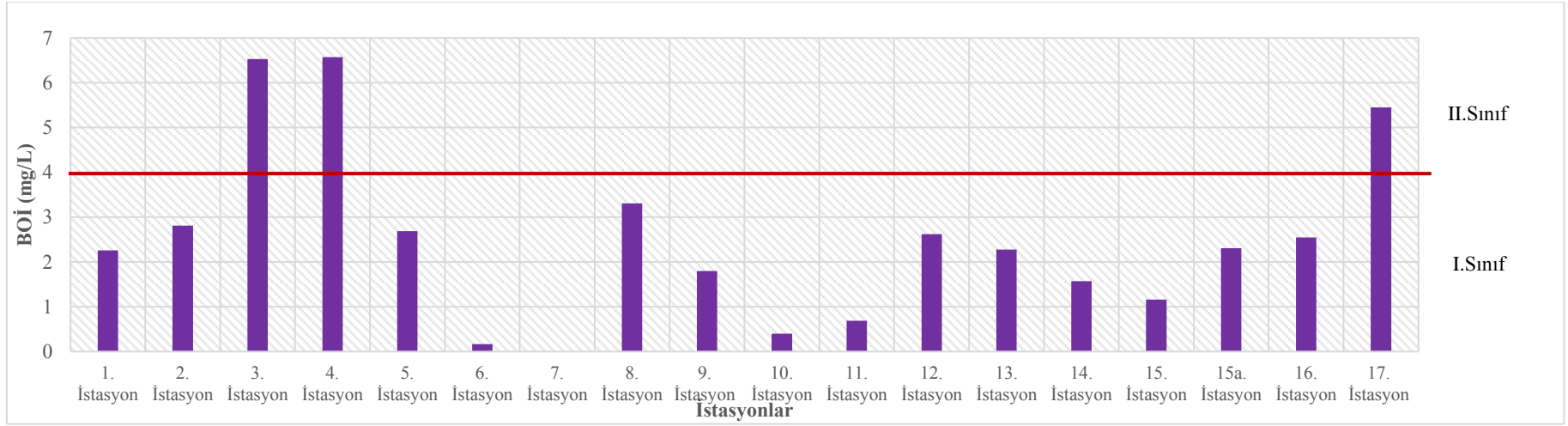
Şekil 4.40. Haziran 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



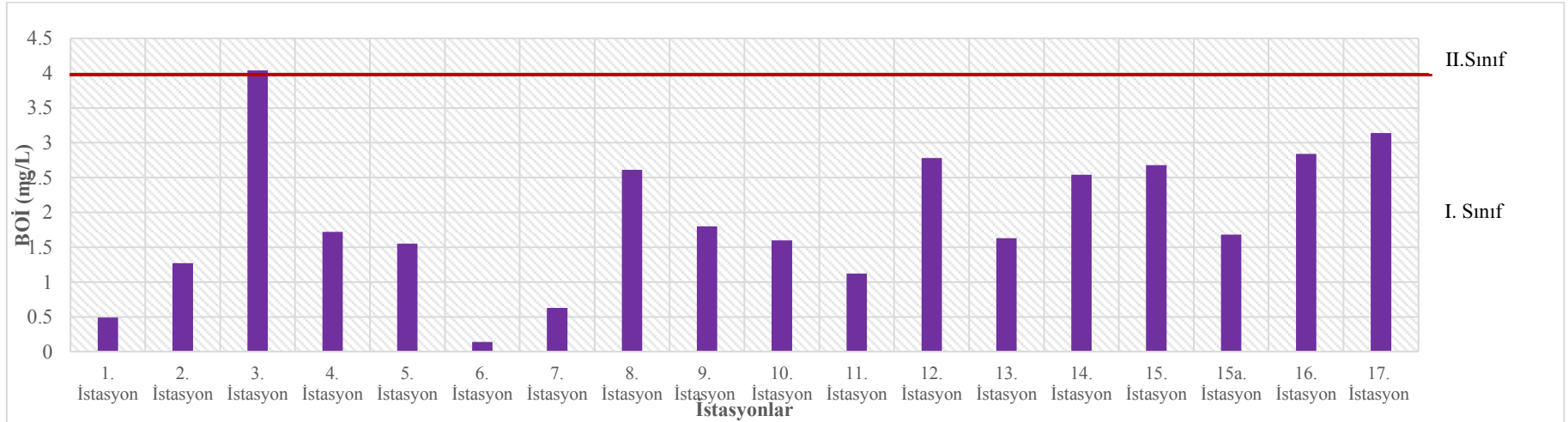
Şekil 4.41. Temmuz 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



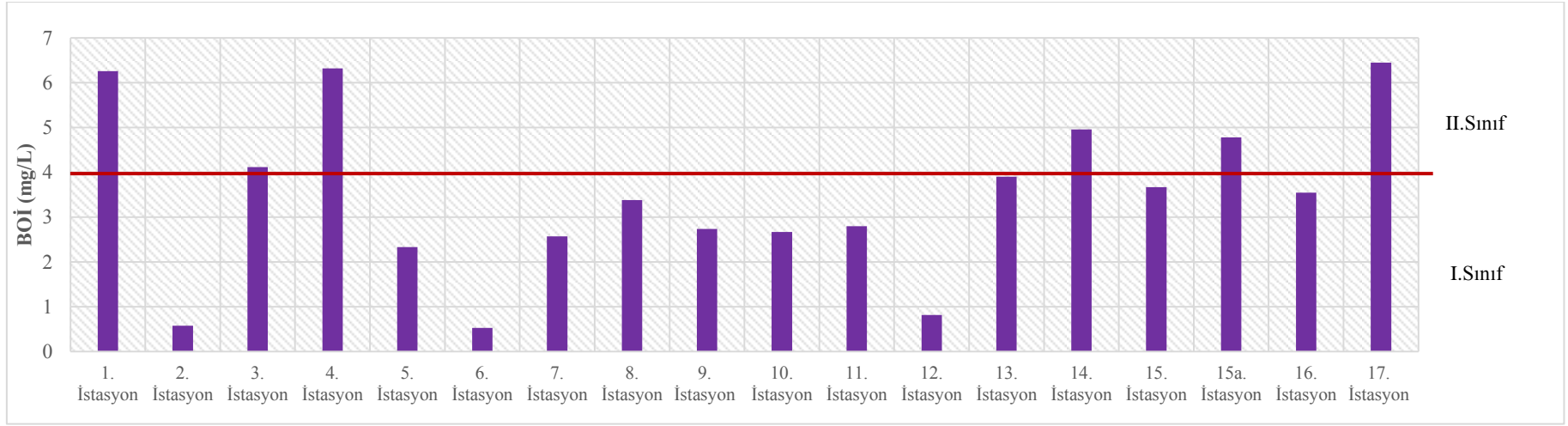
Şekil 4.42. Ağustos 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



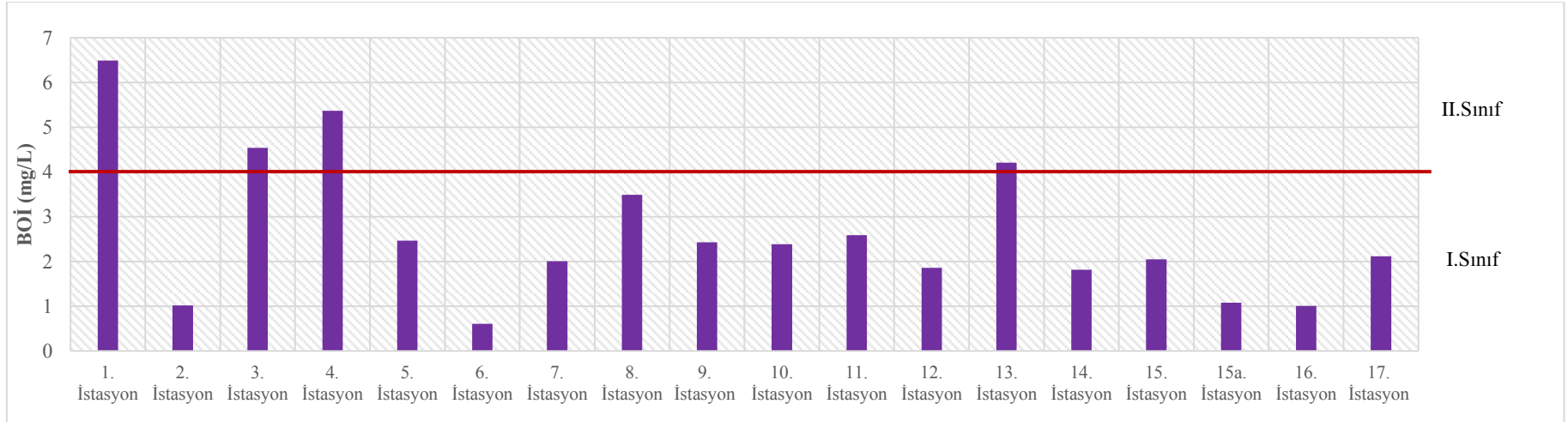
Şekil 4.43. Eylül 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



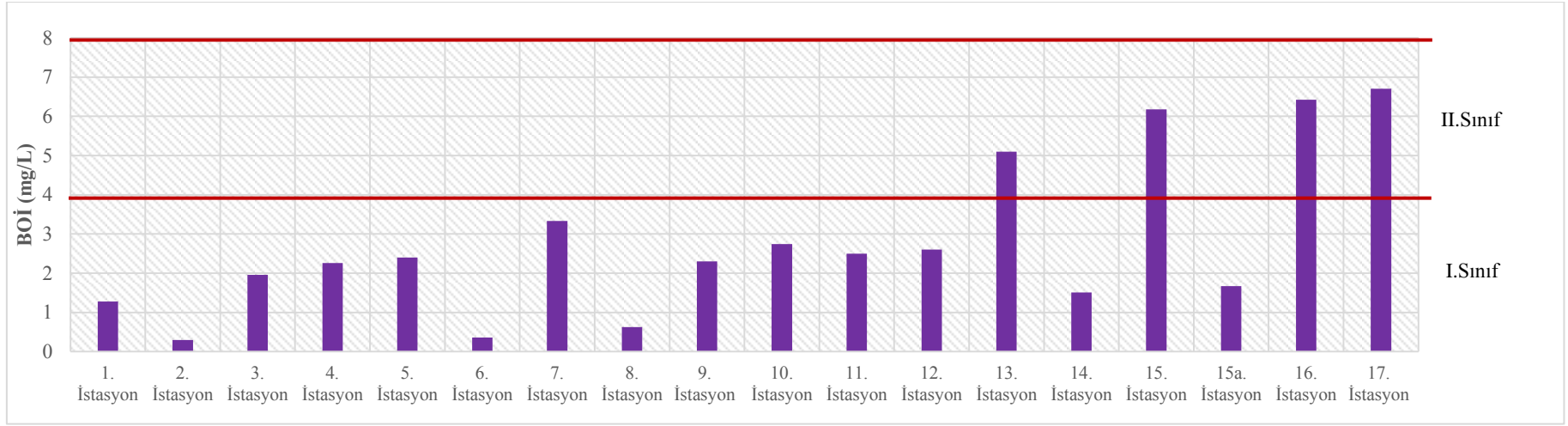
Şekil 4.44. Ekim 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



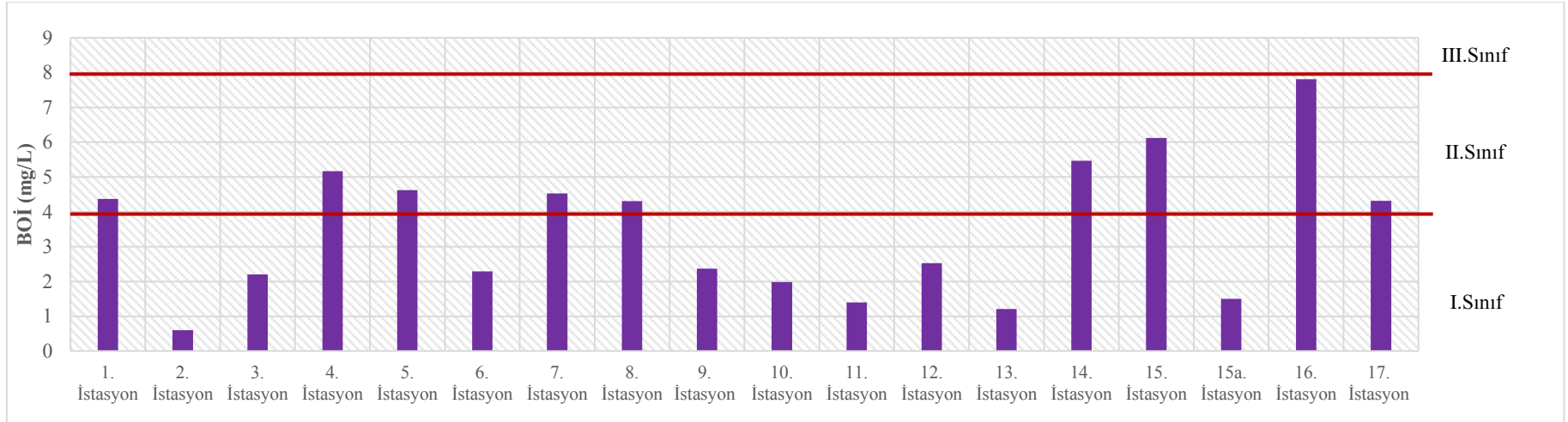
Şekil 4.45. Kasım 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



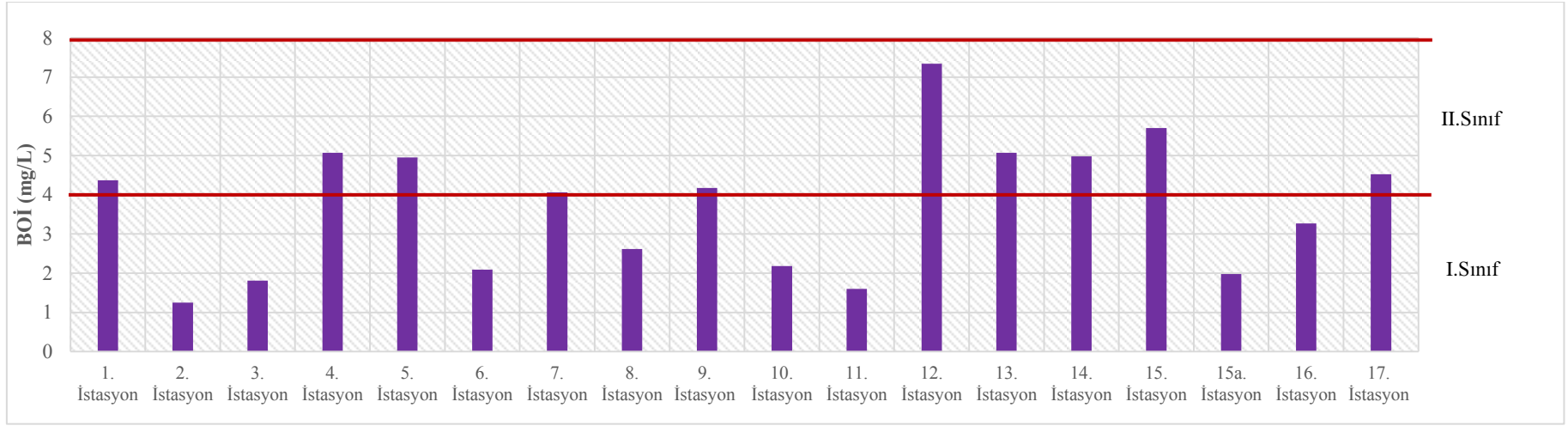
Şekil 4.46. Aralık 2016 BOİ seviyeleri (mg/L)



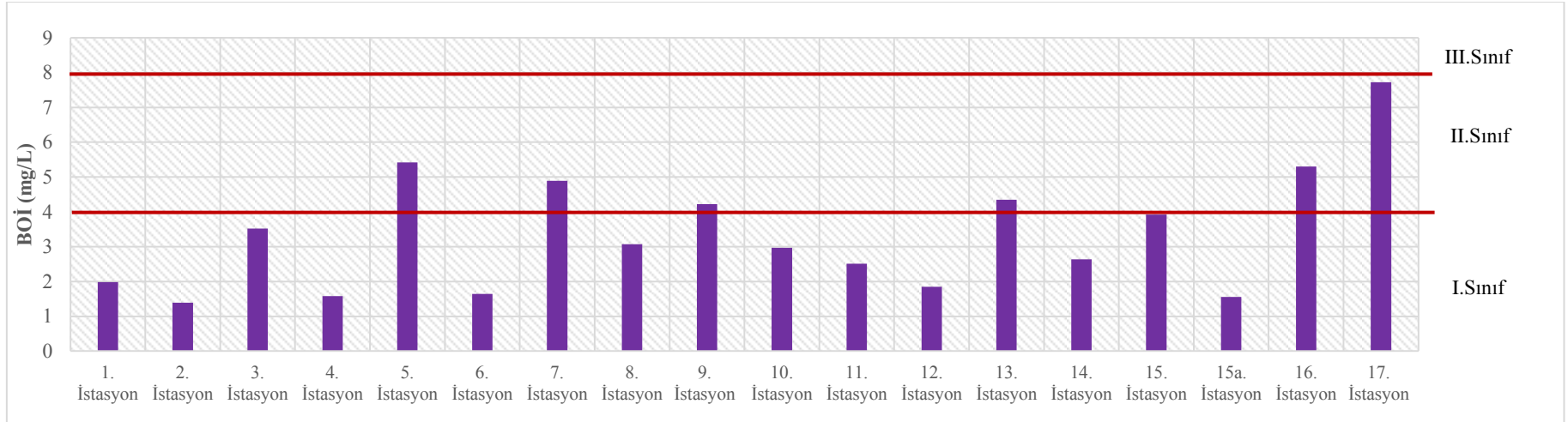
Şekil 4.47. Ocak 2017 BOİ seviyeleri (mg/L)



Şekil 4.48. Şubat 2017 BOİ seviyeleri (mg/L)

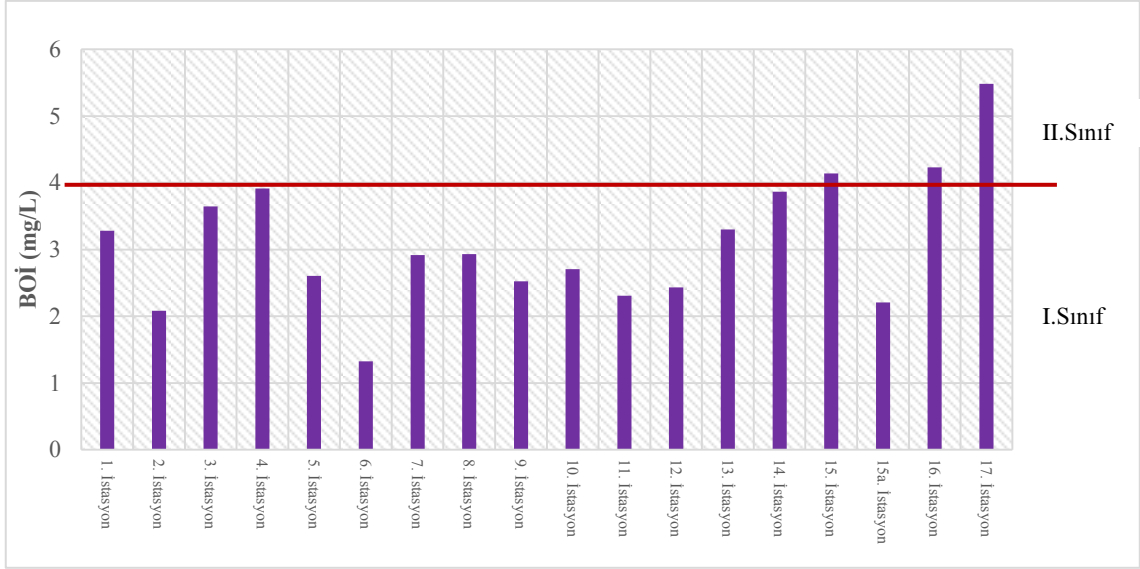


Şekil 4.49. Mart 2017 BOİ seviyeleri (mg/L)



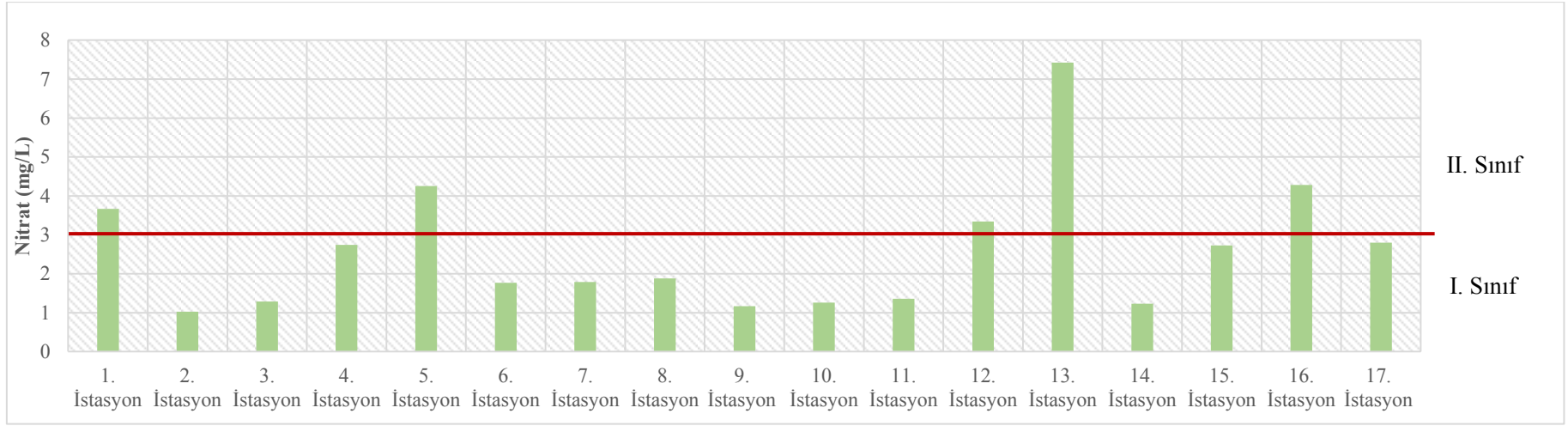
Şekil 4.50. Nisan 2017 BOİ seviyeleri (mg/L)



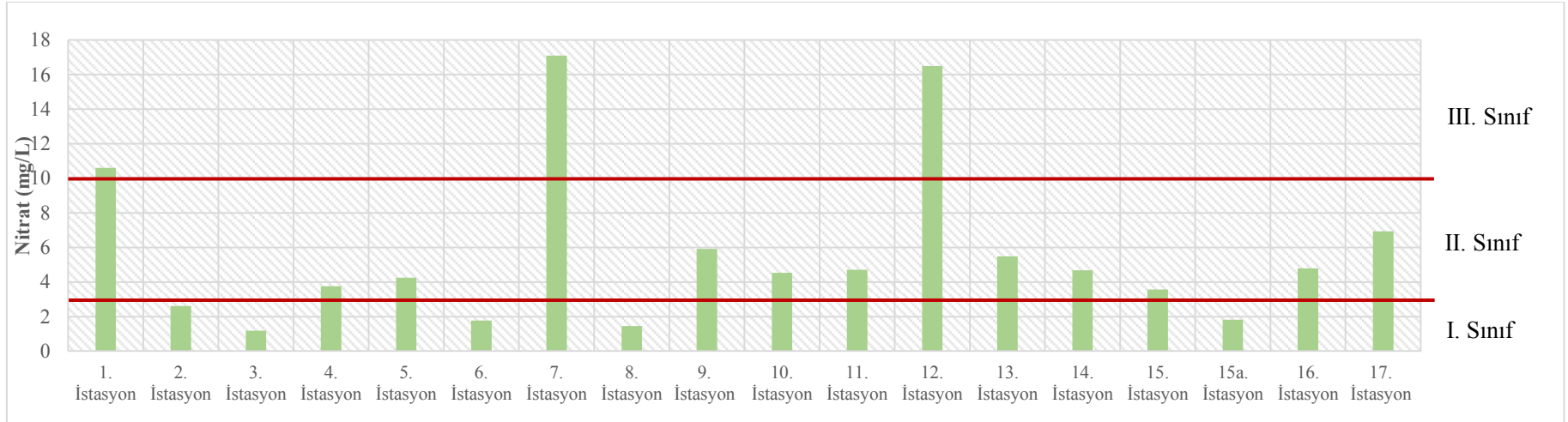


**Şekil 4.51.** Yıllık ortalama BOİ seviyeleri (mg/L)

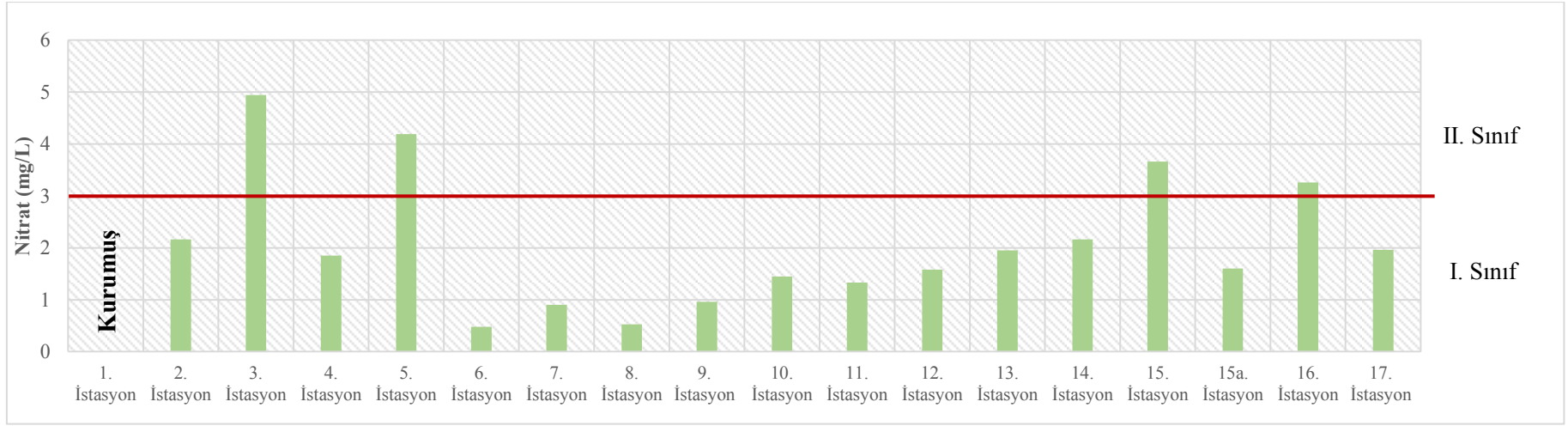
Yapılan analizler sonucu Mayıs ayında 13. istasyonda ve Eylül ayında 7. istasyonda BOİ ölçülmezken, en yüksek BOİ seviyesi Temmuz ayında 17. İstasyonda (9,88 mg/L) ölçülmüştür. Temmuz ve Ağustos aylarında 1. istasyon kuruduğu ve yeterli miktarda su bulunmadığı için örnek alınamamıştır. Mayıs ve Temmuz aylarında 17. istasyonun Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre III. Sınıf kalitede olduğu gözlenirken yıllık ortalama değerlere bakıldığında 17. istasyonun II. Sınıf kalitede olduğu saptanmıştır. Şekil 4.51'de görüldüğü gibi 15, 16 ve 17. istasyonların yıl boyu ayların çoğunda olduğu gibi II. Sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir. Diğer tüm istasyonların ise I. Sınıf su kalitesinde tespit edilmiştir.



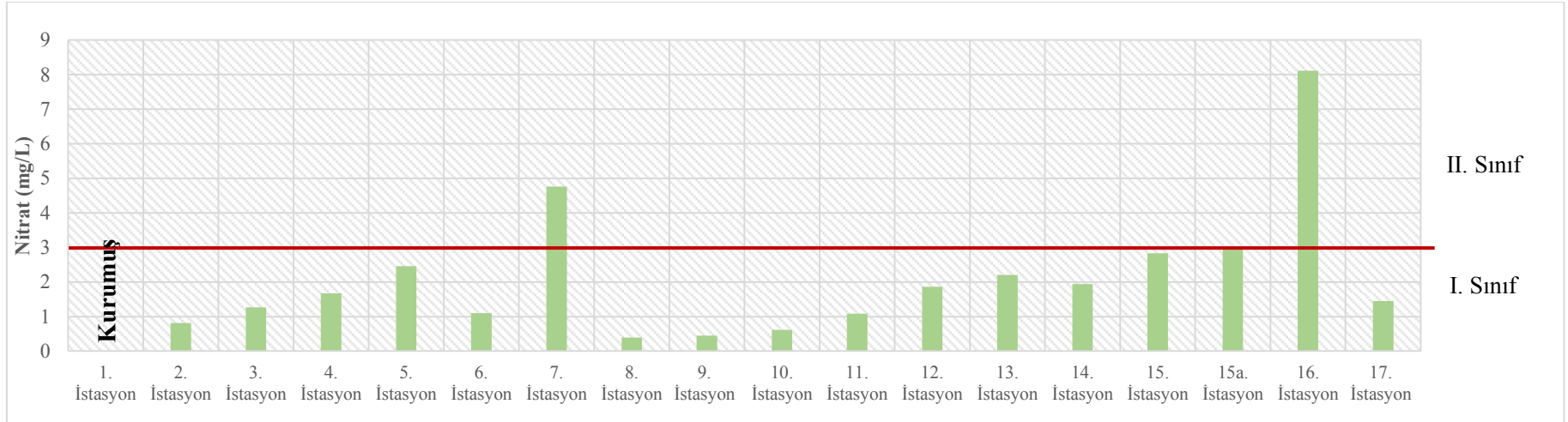
Şekil 4.52. Mayıs 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



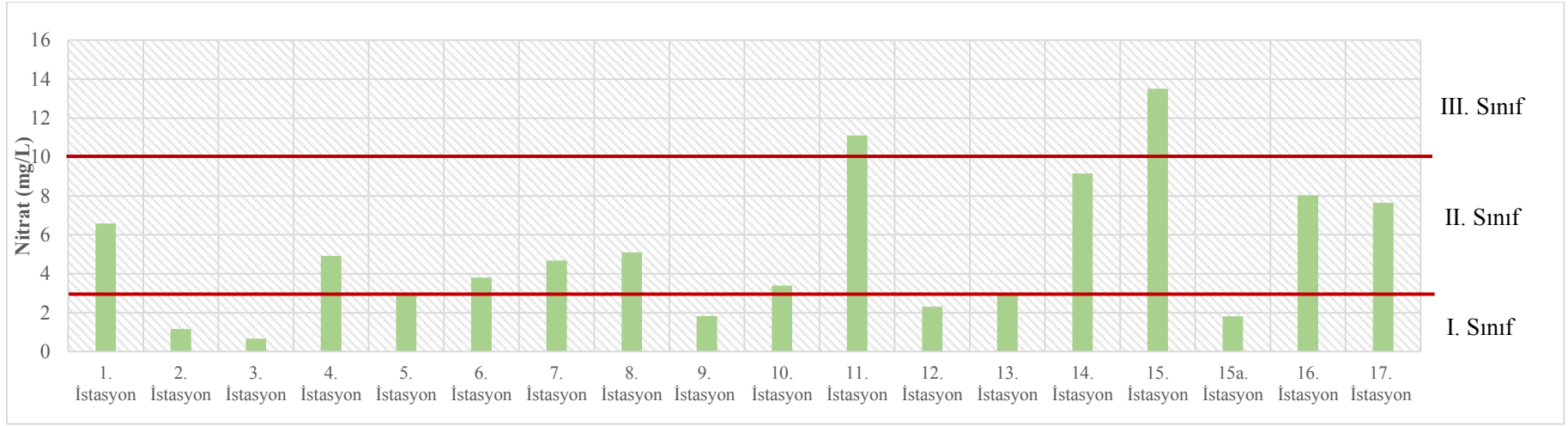
Şekil 4.53. Haziran 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



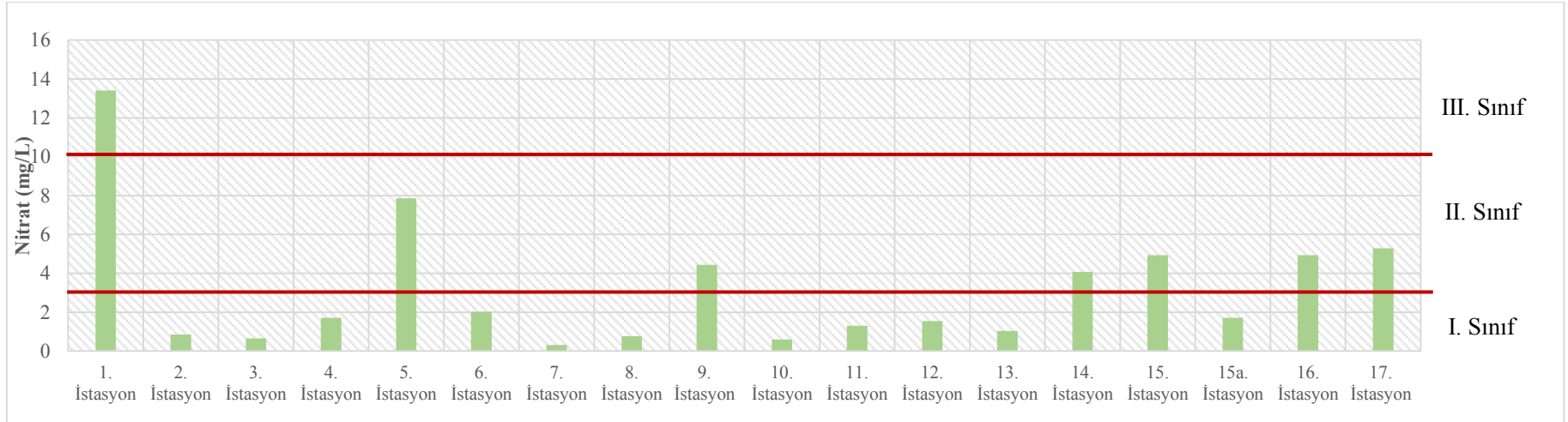
Şekil 4.54. Temmuz 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



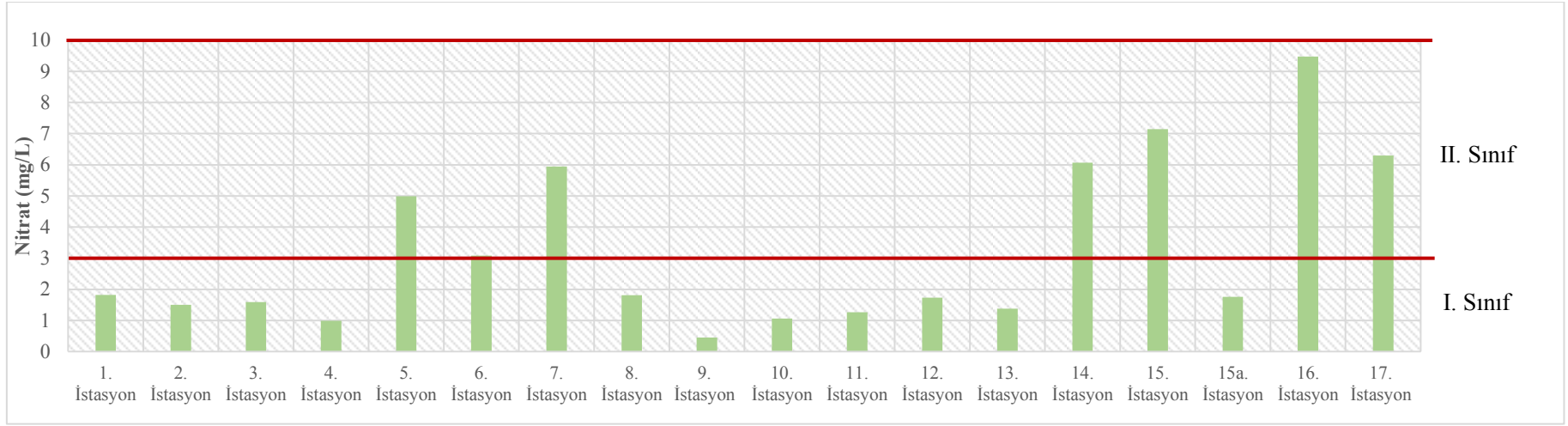
Şekil 4.55. Ağustos 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



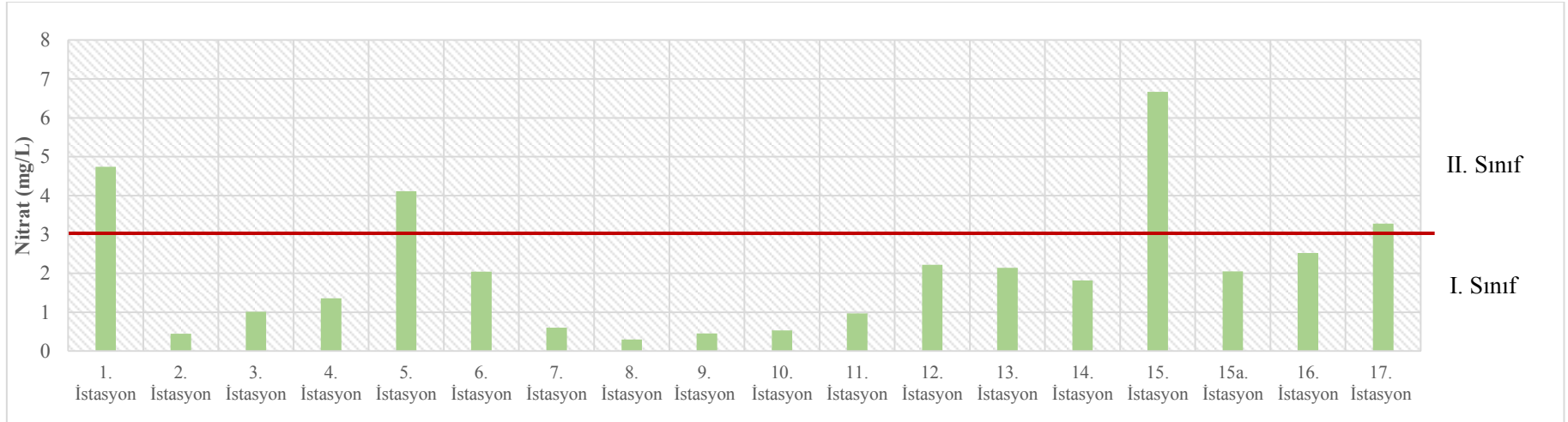
Şekil 4.56. Eylül 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



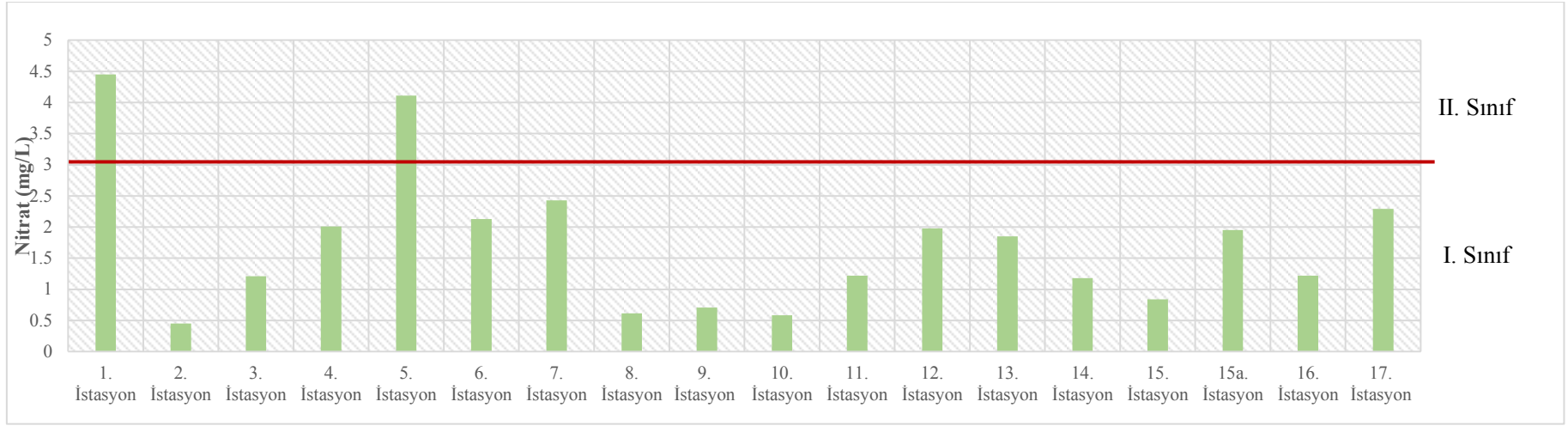
Şekil 4.57. Ekim 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



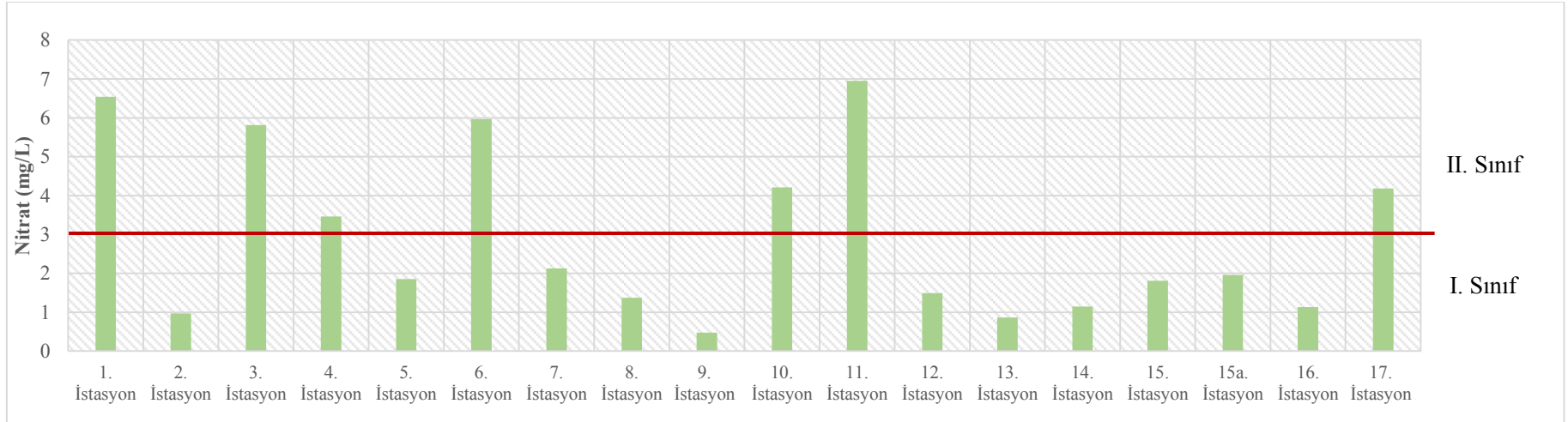
Şekil 4.58. Kasım 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



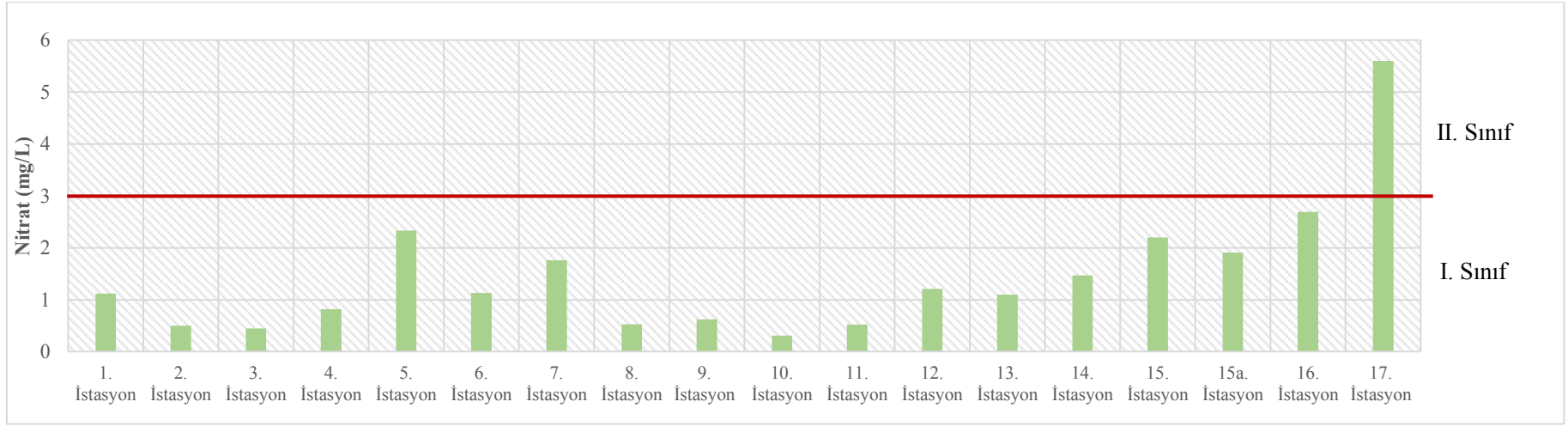
Şekil 4.59. Aralık 2016 nitrat seviyeleri (mg/L)



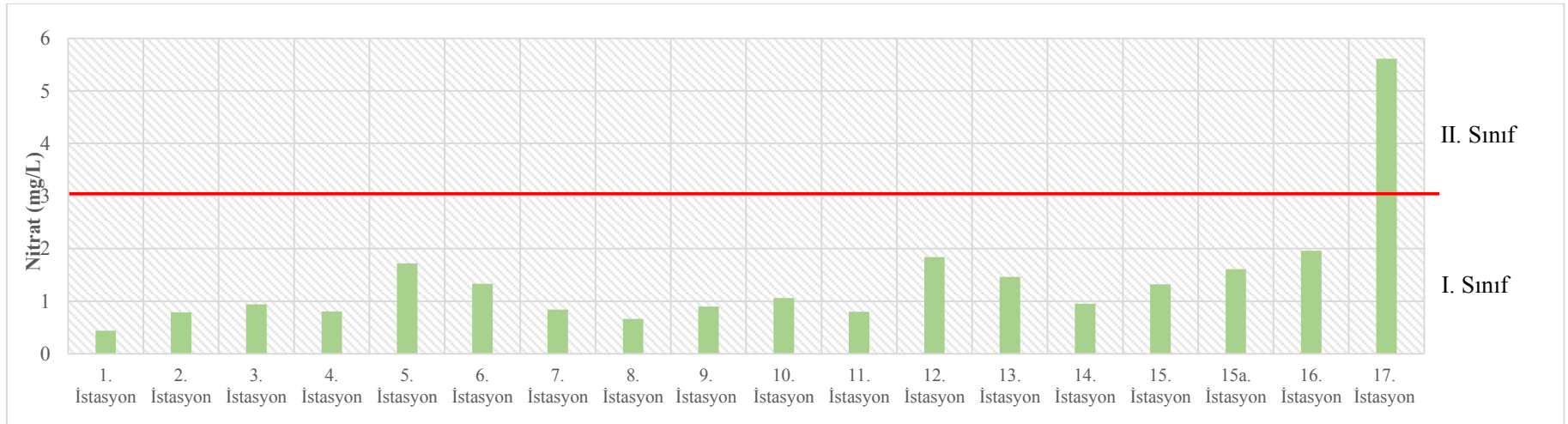
Şekil 4.60. Ocak 2017 nitrat seviyeleri (mg/L)



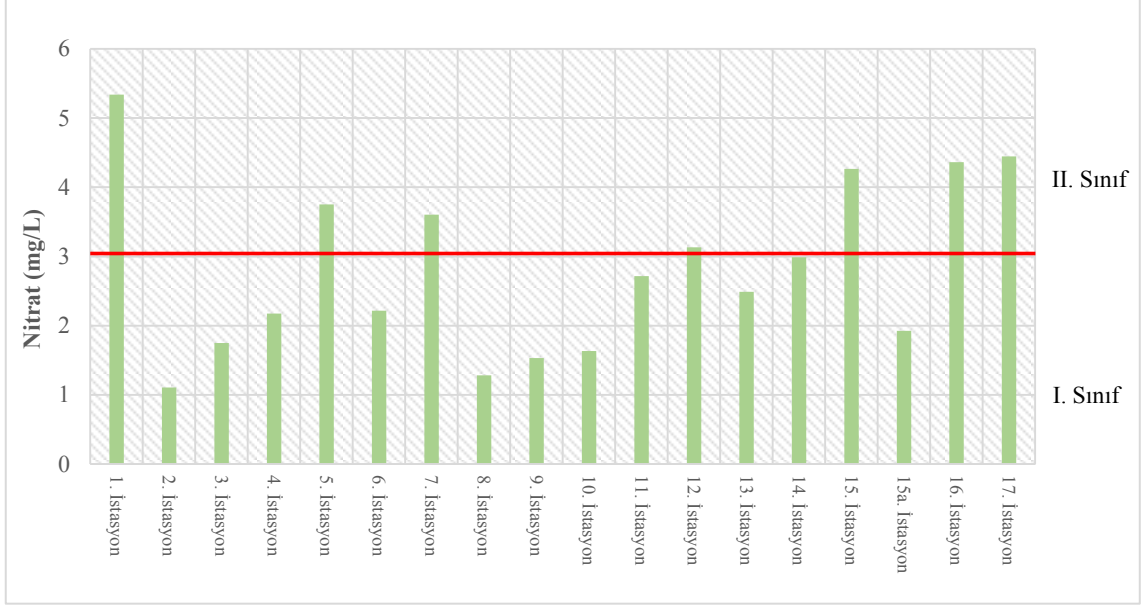
Şekil 4.61. Şubat 2017 nitrat seviyeleri (mg/L)



Şekil 4.62. Mart 2017 nitrat seviyeleri (mg/L)



Şekil 4.63. Nisan 2017 nitrat seviyeleri (mg/L)

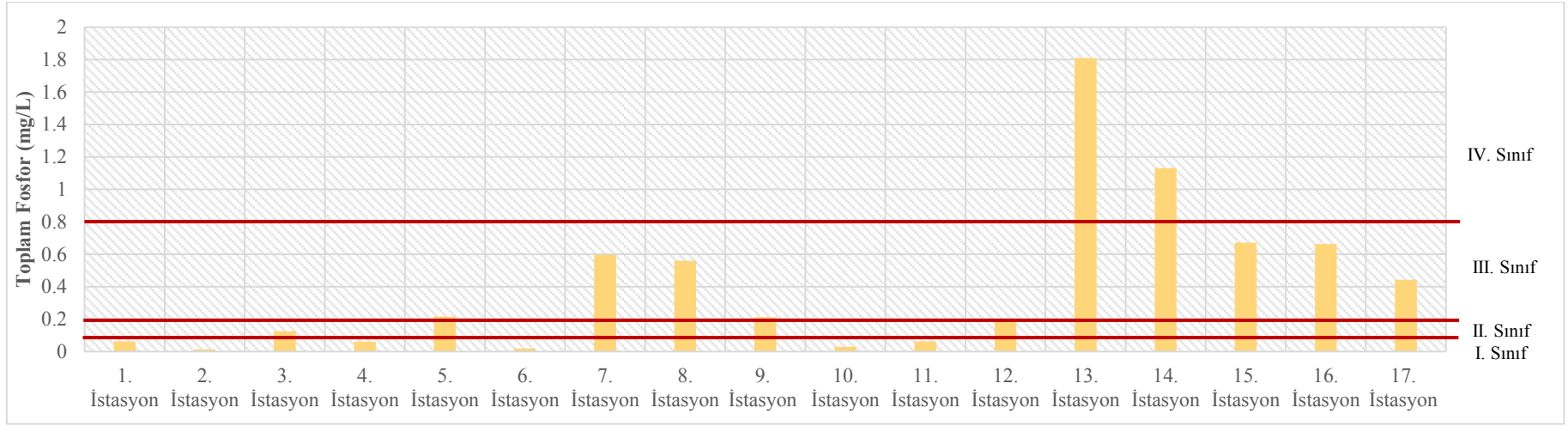


**Şekil 4.64.** Yıllık ortalama nitrat seviyeleri (mg/L)

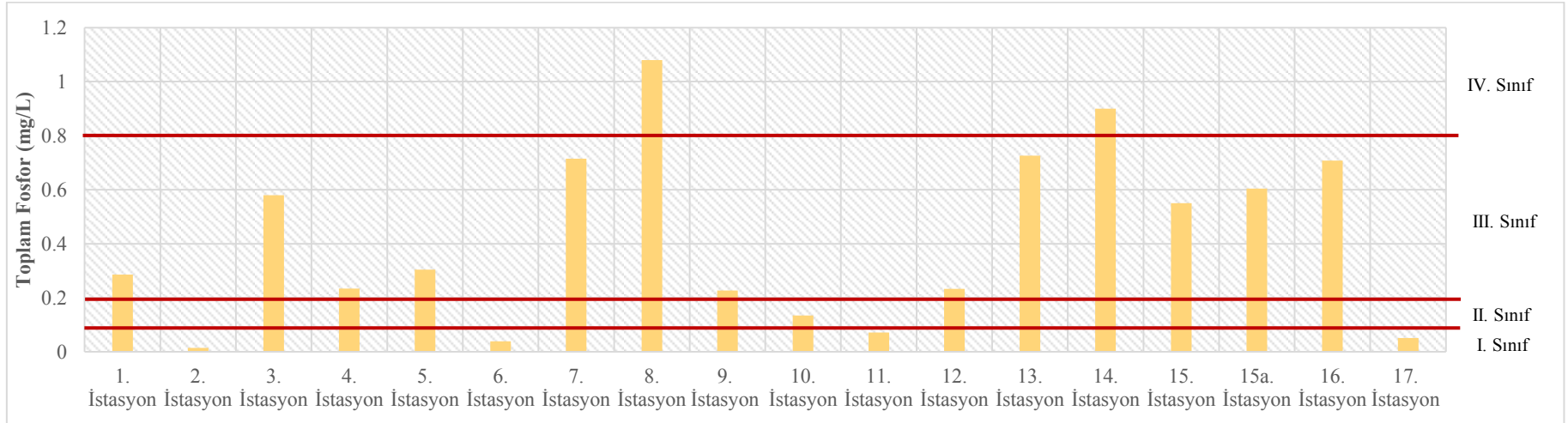
2016 Nisan ayında en yüksek nitrat seviyesi 7, 42 mg/L olarak 13. istasyonda belirlenirken, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 1, 5, 12, 13 ve 16. istasyonlar 2. Sınıf su kalitesinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.52). Haziran ayında en yüksek nitrat seviyesi 17,1 mg/L olarak 7. istasyonda ölçülmüş olup, 1, 7, 12. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 3. Sınıf kalitede olduğu belirlenmiştir. Temmuz ve Ağustos aylarında 1. istasyon kurduğu ve yeterli miktarda su bulunmadığı için örnek alınamamıştır. Temmuz ayında 2, 5, 15 ve 16. istasyonların, Ağustos ayında ise 7 ve 16. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2. Sınıf kalitede olduğu saptanmıştır. Eylül ayında 11 ve 15. istasyonların, Ekim ayında ise 1. istasyonun Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 3. Sınıf kalitede olduğu belirlenirken, en yüksek nitrat seviyesi Eylül ayında 15. istasyonda (13,5 mg/L) ölçülmüştür. Kasım ayında en yüksek nitrat seviyesi 16. istasyonda (9,47 mg/L) tespit edilirken, 5, 7, 14, 15, 16 ve 17. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2. Sınıf kalitede olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.58). Aralık ayında 1, 5, 15 ve 17. istasyonların, Ocak ayında da Aralık ayında da olduğu gibi 1 ve 5. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2. Sınıf su kalitesinde olduğu saptanmıştır. Şubat ayında en yüksek nitrat seviyesi 6,95 mg/L olarak 11. istasyonda ölçülürken, 1, 3, 6, 10, 11 ve 17. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2. Sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4,61). Mart ve Nisan aylarında sadece 17. istasyonun Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2. Sınıf olduğu belirlenirken diğer tüm istasyonların 1. Sınıf su



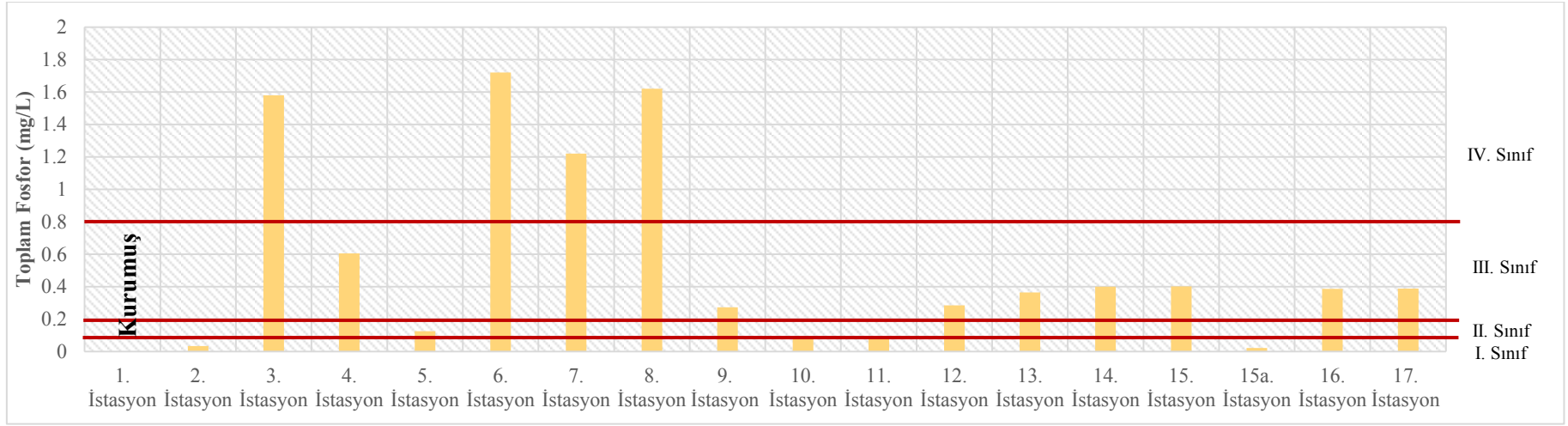
kalitesinde olduğu gözlenmiştir. Yıllık ortalama değerlere bakıldığında ise 1, 5, 7, 12, 15, 16 ve 17. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2. Sınıf kalitede olduğu, diğer istasyonların 1. Sınıf kalitede olduğu görölmektedir (Şekil 4.64). EU (2014) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2013)'de sınır değeri 50 mg/L olarak verilmiştir ve tüm aylarda ve tüm istasyonlarda bu değerin aşılmadığı tespit edilmiştir.



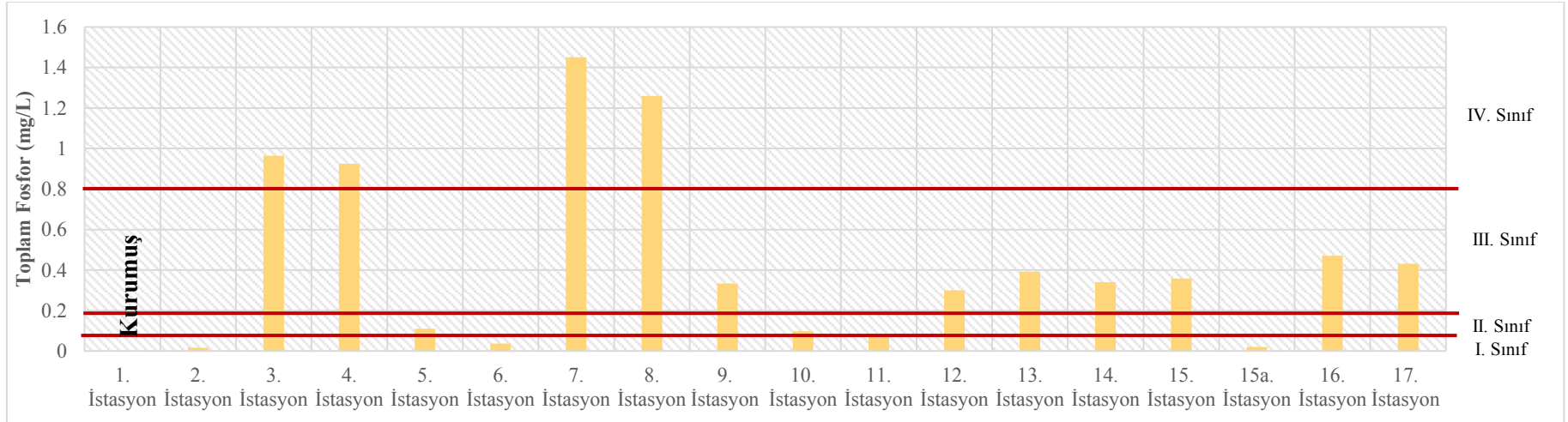
Şekil 4.65. Mayıs 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



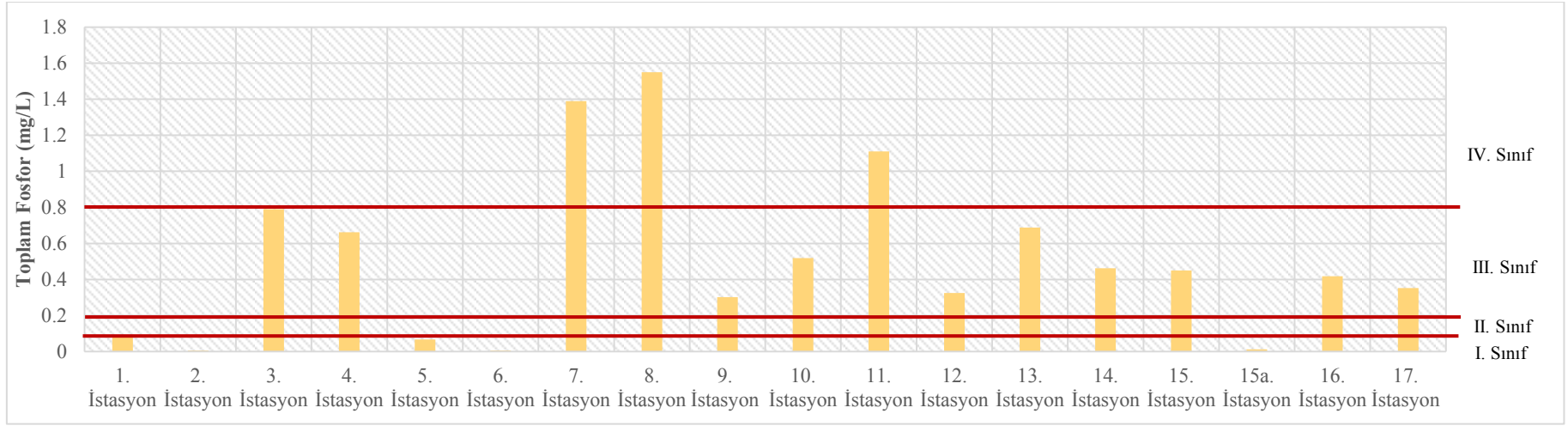
Şekil 4.66. Haziran 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



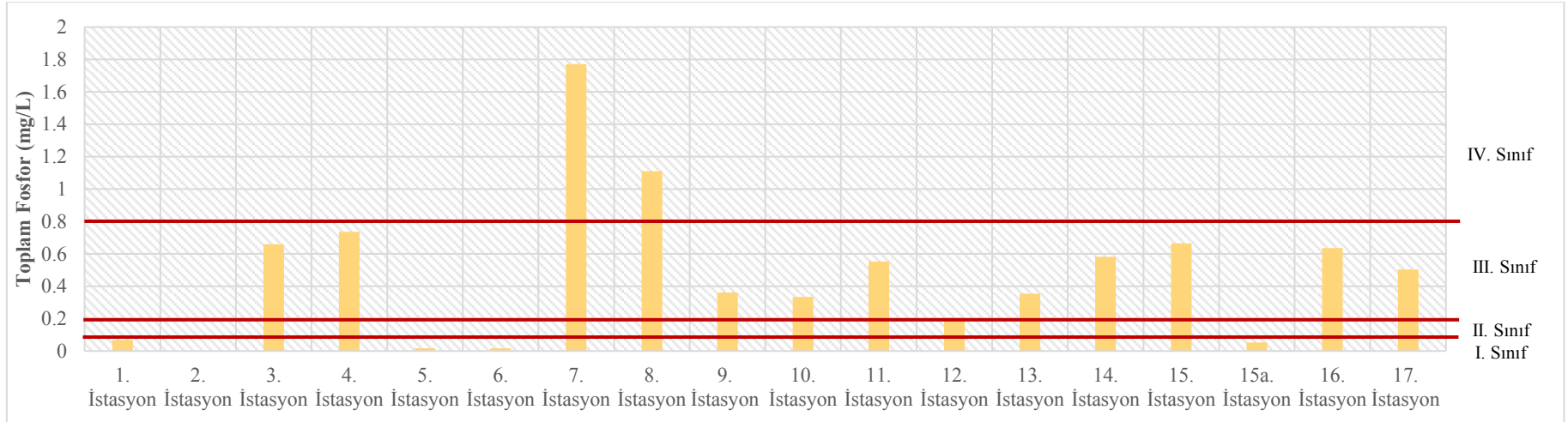
Şekil 4.67. Temmuz 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



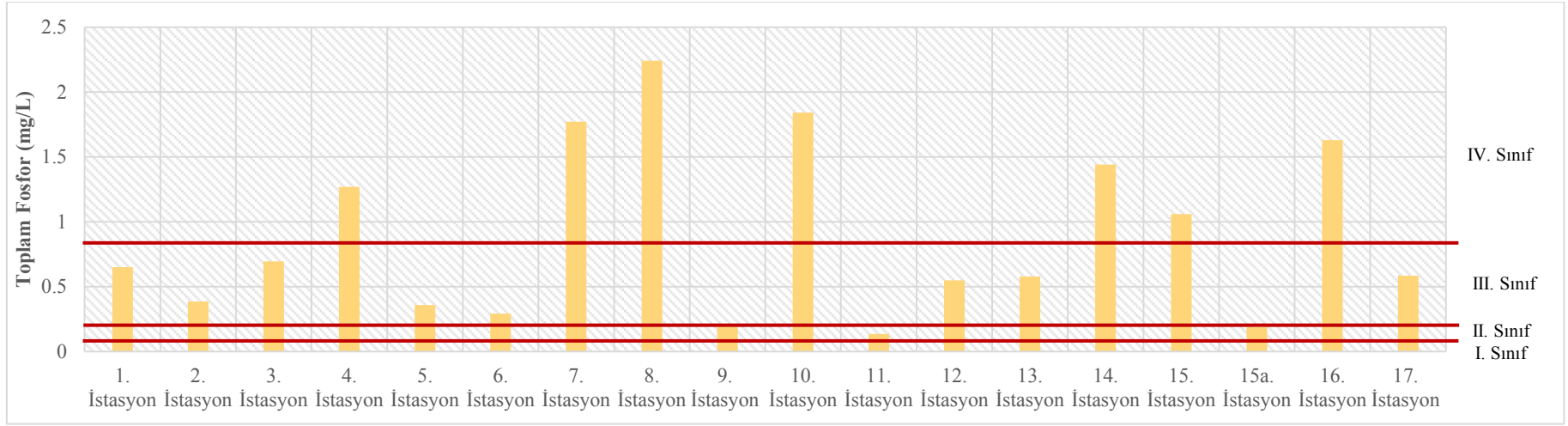
Şekil 4.68. Ağustos 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



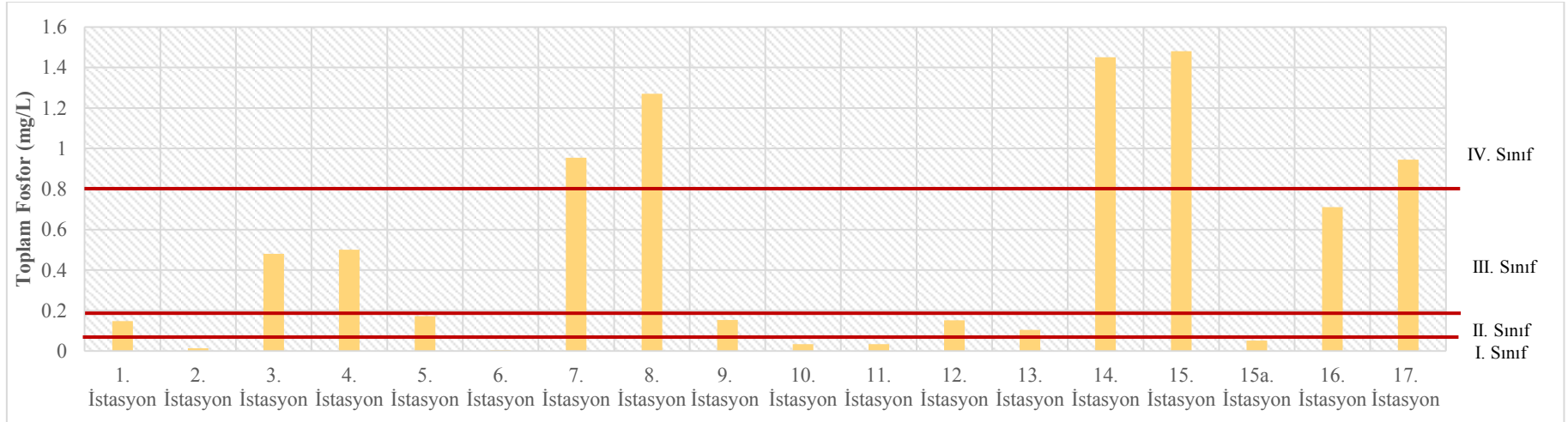
Şekil 4.69. Eylül 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



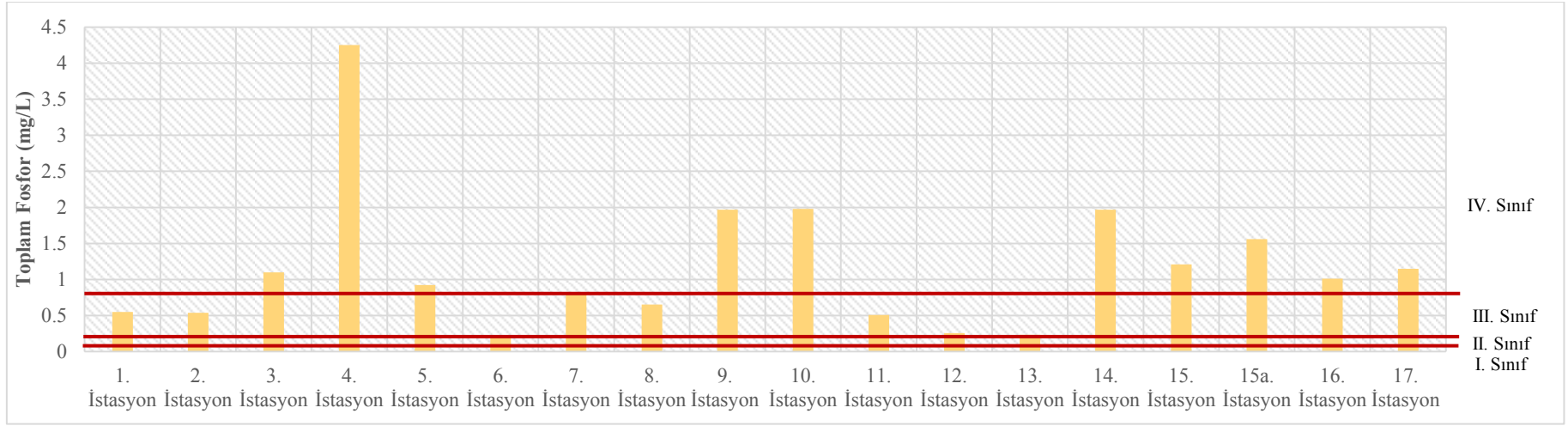
Şekil 4.70. Ekim 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



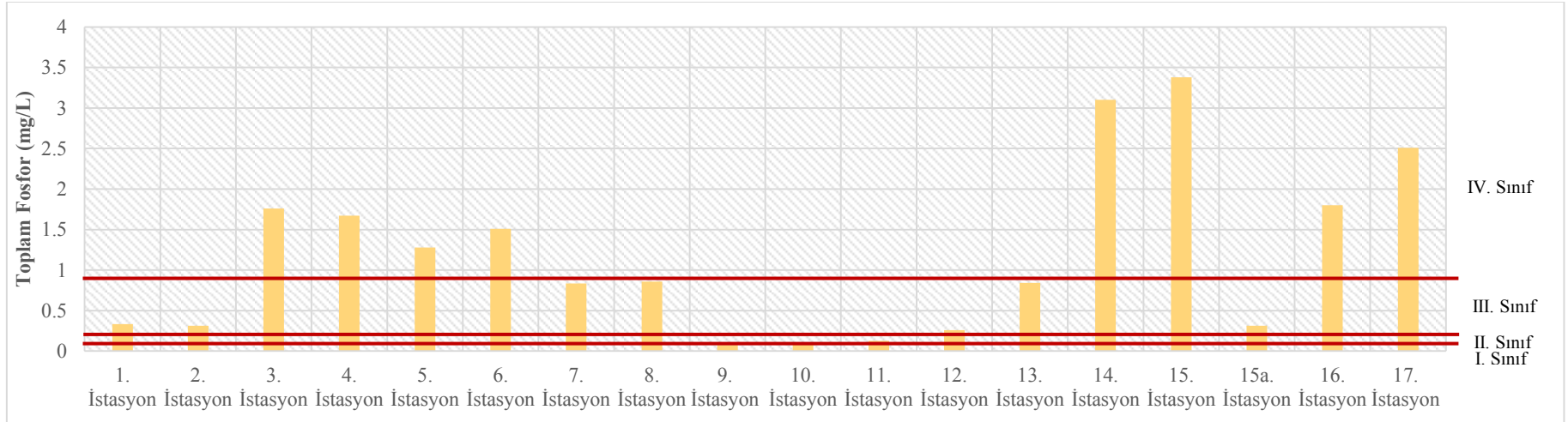
Şekil 4.71. Kasım 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



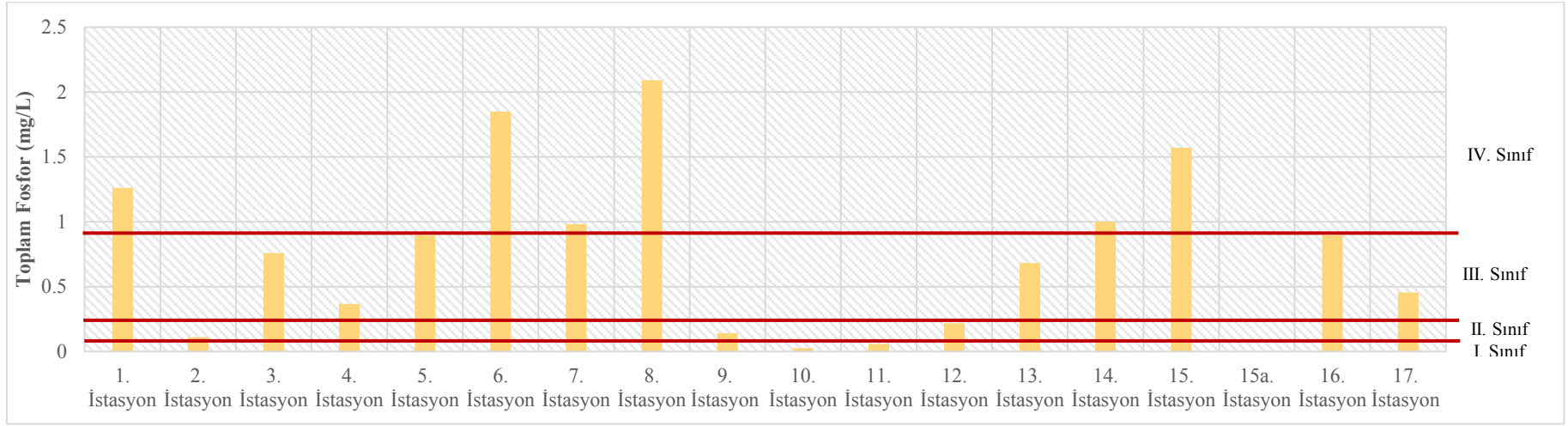
Şekil 4.72. Aralık 2016 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



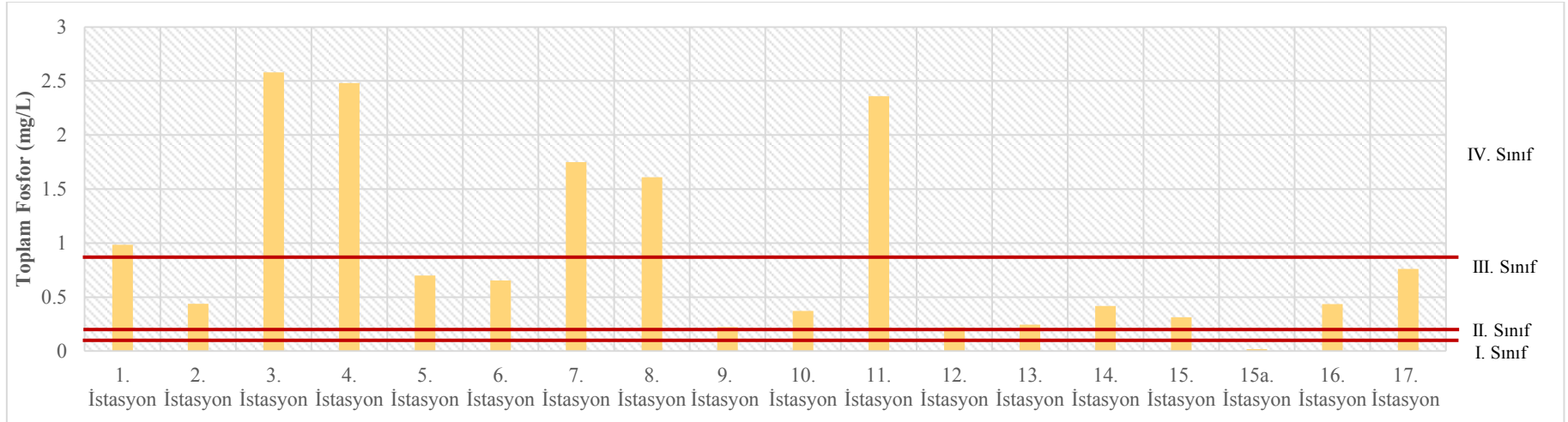
Şekil 4.73. Ocak 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



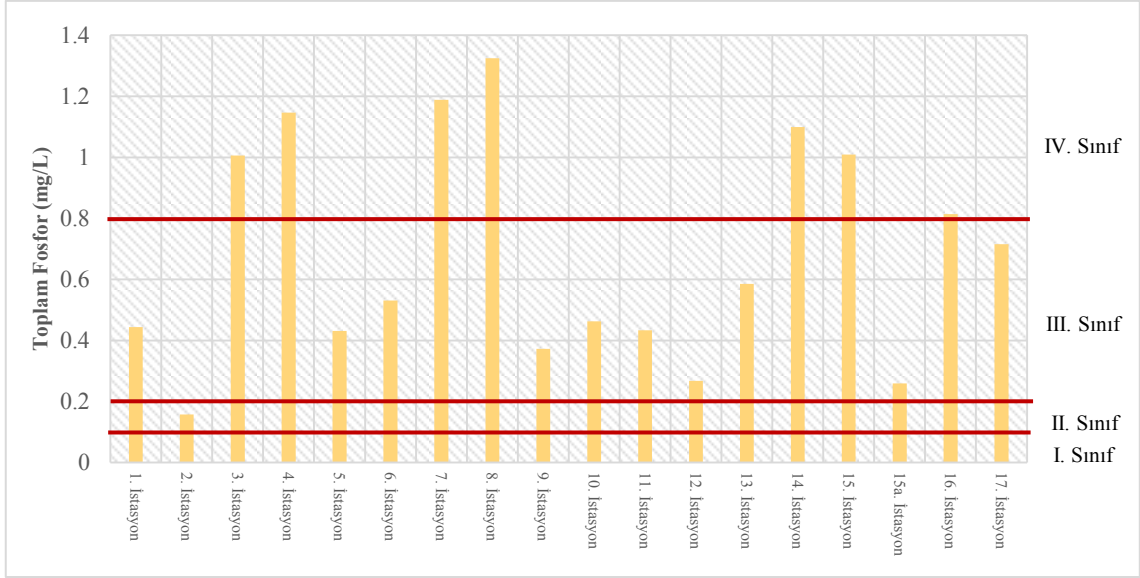
Şekil 4.74. Şubat 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



Şekil 4.75. Mart 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)



Şekil 4.76. Nisan 2017 toplam fosfor seviyeleri (mg/L)

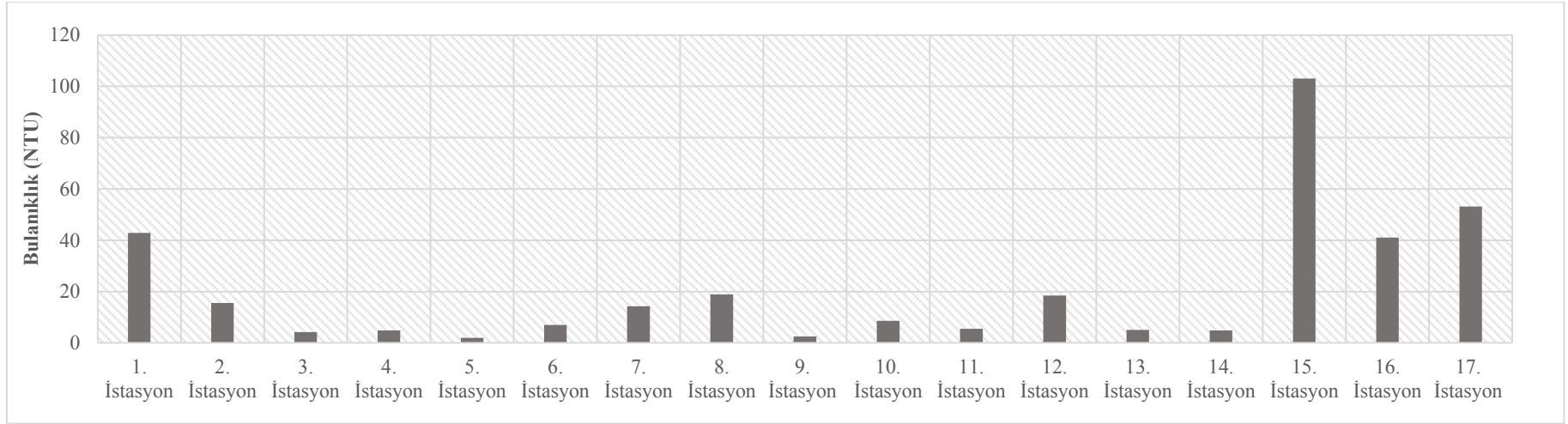


**Şekil 4.77.** Yıllık ortalama toplam fosfat değerleri (mg/L)

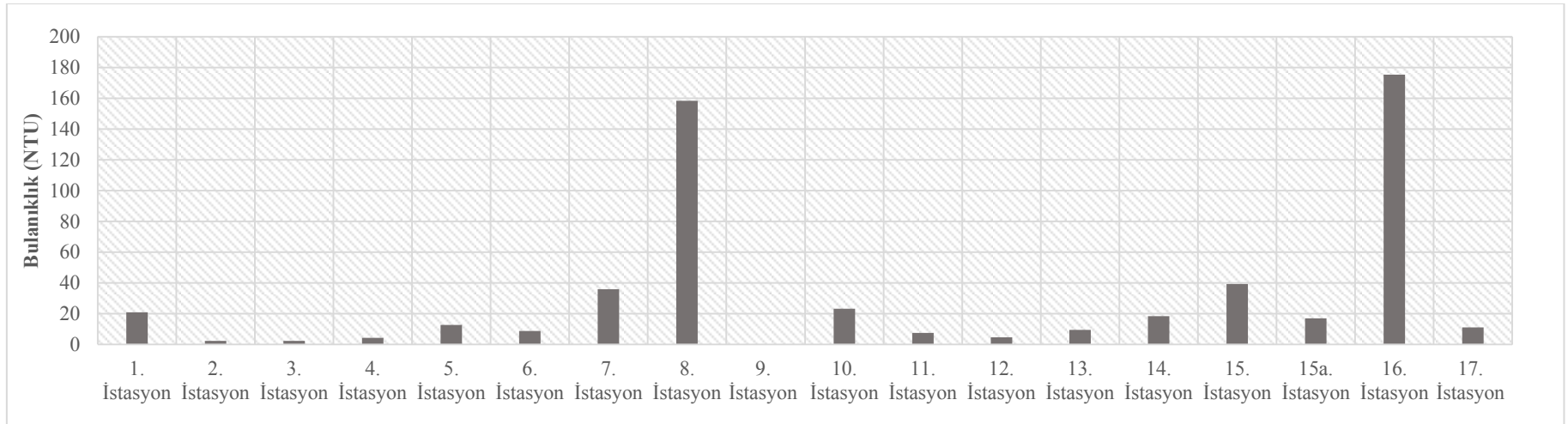
2016 yılı Mayıs ayında en yüksek toplam fosfat seviyesi 1,81 mg/L olarak 13. istasyonda belirlenirken, en düşük 0,015 mg/L olarak 2. istasyonda belirlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 1, 2, 4, 6, 10 ve 11. istasyonlar I sınıf su kalitesinde saptanırken, 13 ve 14. istasyonlar 4. Sınıf su kalitesinde saptanmıştır (Şekil 4.65). Haziran ayında en yüksek seviye 8. istasyonda (1,08 mg/L), en düşük seviye ise 2. istasyonda (0,015 mg/L) ölçülmüştür. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2, 6, 11 ve 17. istasyonlar I sınıf su kalitesinde belirlenirken, 8 ve 14. istasyonlar 4. Sınıf su kalitesinde belirlenmiştir (Şekil 4.66). Temmuz ve Ağustos aylarında 1. istasyon kurduğu ve yeterli miktarda su bulunmadığı için örnek alınamamıştır. Temmuz ayında Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 3, 6, 7 ve 8. istasyonlar 4. sınıf su kalitesinde belirlenirken, en yüksek seviye 1,76 mg/L olarak 6. istasyonda belirlenmiştir (Şekil 4.67). Ağustos ayında ise 3, 4, 7 ve 8. istasyonlar 4. Sınıf su kalitesinde belirlenmiş ve en yüksek seviye 1,45 mg/L olarak 7. istasyonda belirlenmiştir (Şekil 4.68). Eylül ayında en yüksek toplam fosfat seviyesi 1,55 mg/L olarak 8. istasyonda belirlenirken, en düşük 0,007 mg/L olarak 2 ve 6. istasyonda belirlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2, 5, 6 ve 15a. istasyonlar I sınıf su kalitesinde saptanırken, 7, 8 ve 11. istasyonlar 4. Sınıf su kalitesinde saptanmıştır (Şekil 4.69). Ekim ayında 2. istasyonda toplam fosfat ölçülmezken, en yüksek toplam fosfat seviyesi 1,77 mg/L olarak 7. istasyonda belirlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 1, 2, 5, 6 ve 15a. istasyonlar I sınıf su kalitesinde saptanırken, 7 ve 8. istasyonlar 4. Sınıf su kalitesinde saptanmıştır (Şekil 4.70). Kasım ayında ise 4, 7, 8, 10, 14, 15 ve 16.



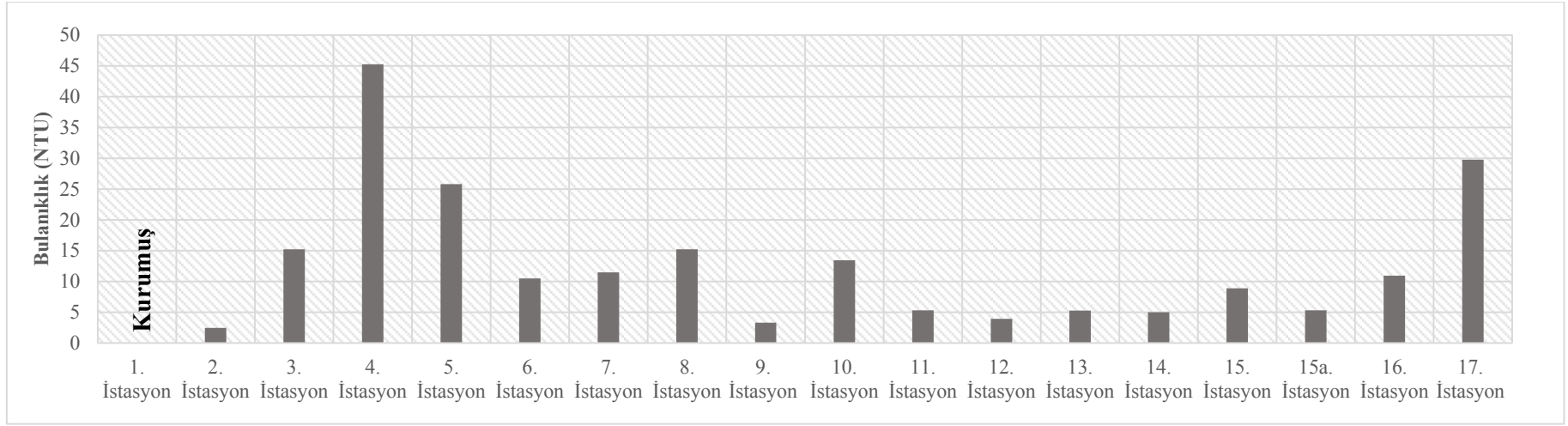
istasyonlar, Aralık ayında ise 7, 8, 14, 15 ve 17. istasyonlar 4. Sınıf su kalitesinde tespit edilmiştir. Ocak ayında Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 4, 9, 10, 14, 15, 15a, 16 ve 17. istasyonlar 4. sınıf su kalitesinde belirlenirken, en yüksek seviye 4,25 mg/L olarak 4. istasyonda belirlenmiştir (Şekil 4.73). Şubat ayında ise 3, 4, 5, 6, 14, 15, 16 ve 17. istasyonlar 4. sınıf su kalitesinde belirlenirken, en yüksek seviye 3,38 mg/L olarak 15. istasyonda belirlenmiştir (Şekil 4.74). Mart ayında en yüksek toplam fosfat seviyesi 2,09 mg/L olarak 8. istasyonda belirlenirken, en düşük 0,003 mg/L olarak 15a. istasyonda belirlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 1, 6, 8 ve 15. istasyonlar 4. sınıf su kalitesinde saptanırken, 10, 11 ve 15a. istasyonlar 1. Sınıf su kalitesinde saptanmıştır (Şekil 4.75). Nisan ayında ise en yüksek toplam fosfat seviyesi 2,58 mg/L olarak 3. istasyonda belirlenirken, en düşük 0,02 mg/L olarak 15a. istasyonda belirlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 1, 3, 4, 7, 8 ve 11. istasyonlar 4. sınıf su kalitesinde saptanırken, sadece 15a. istasyon 1. Sınıf su kalitesinde saptanmıştır (Şekil 4.76). Yıllık ortalama değerler incelendiğinde 3, 4, 7, 8, 14, 15 ve 16. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 4. Sınıf su kalitesinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.77).



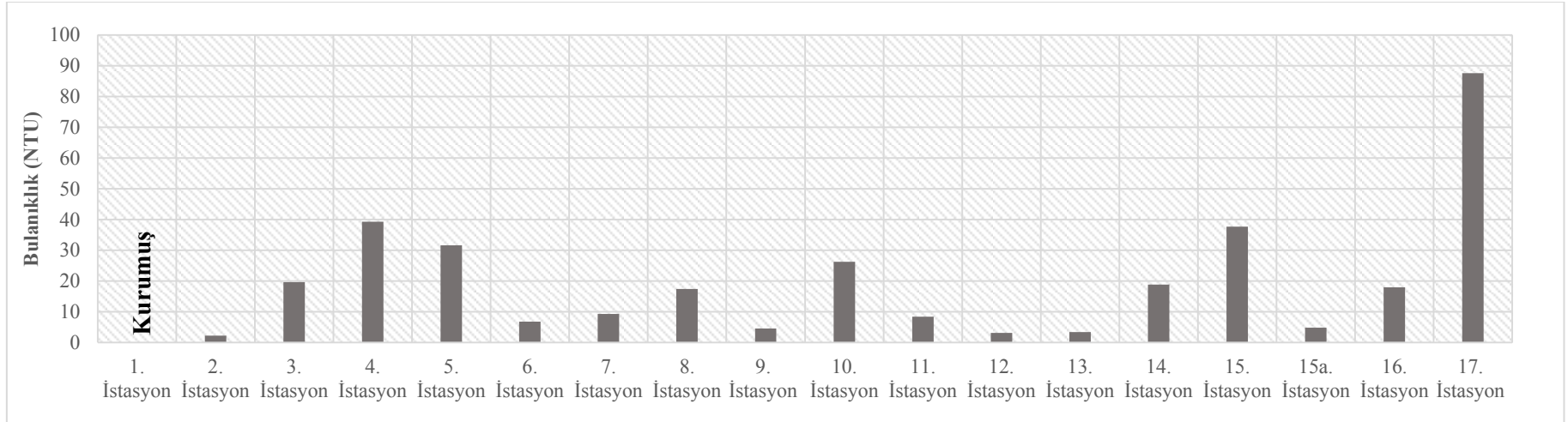
Şekil 4.78. Mayıs 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



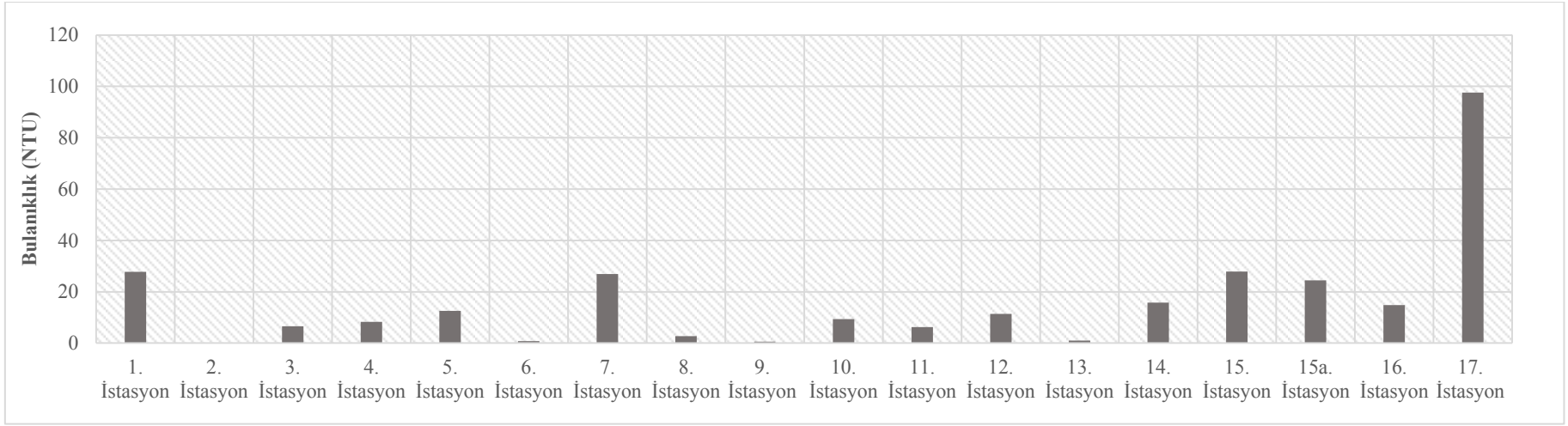
Şekil 4.79. Haziran 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



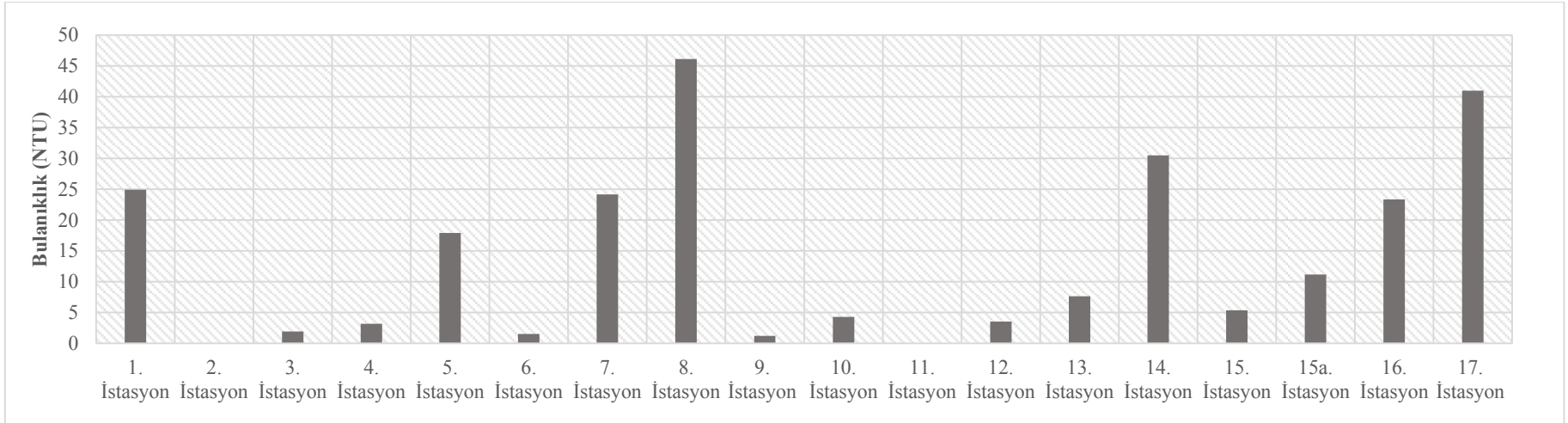
**Şekil 4.80.** Temmuz 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



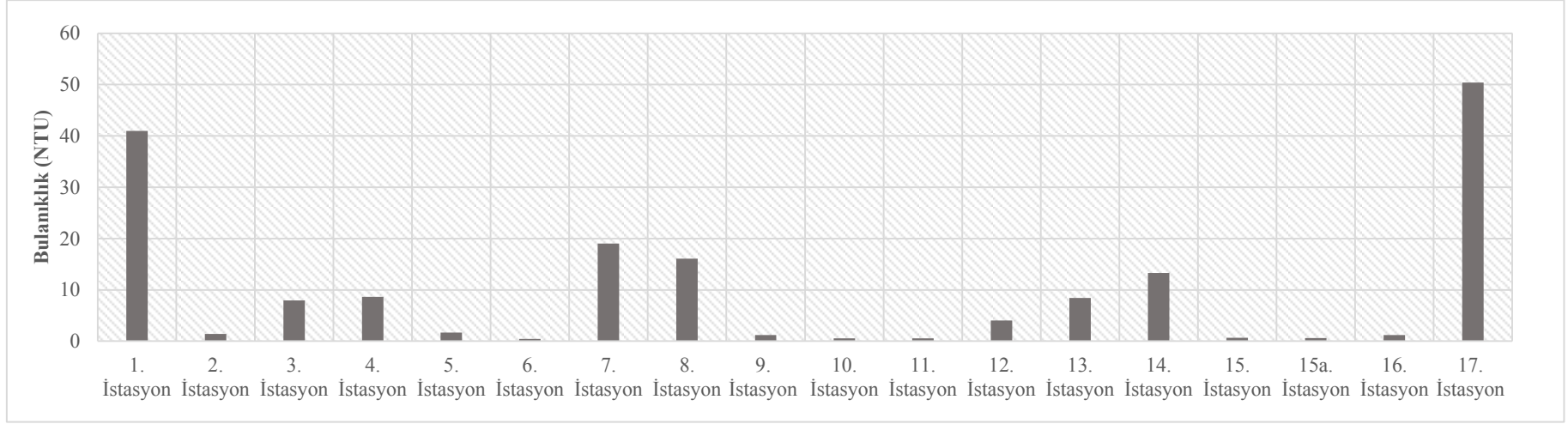
**Şekil 4.81.** Ağustos 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



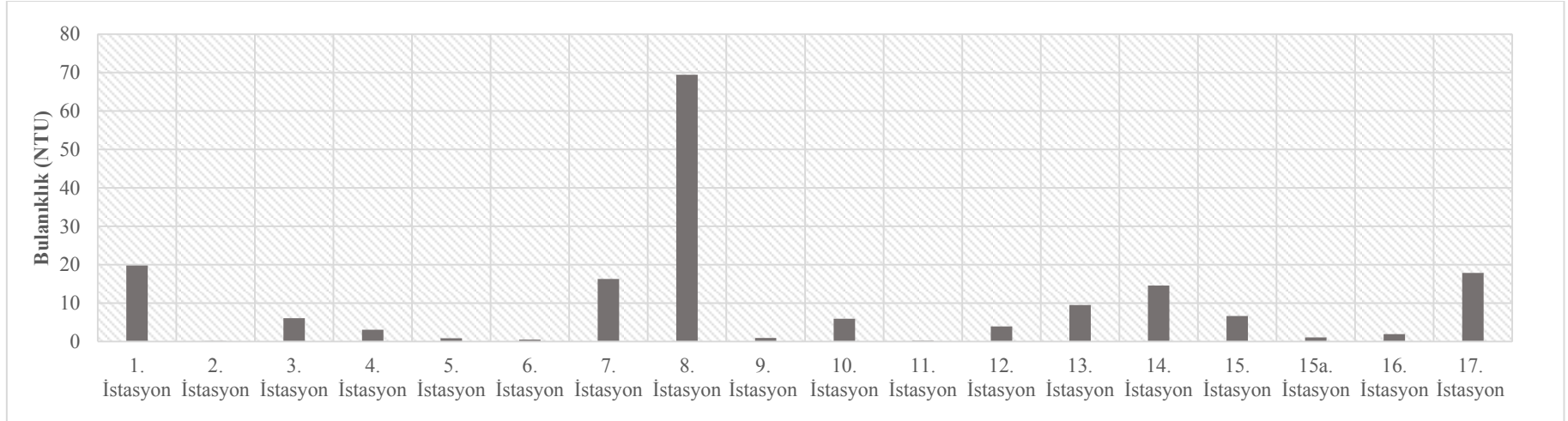
Şekil 4.82. Eylül 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



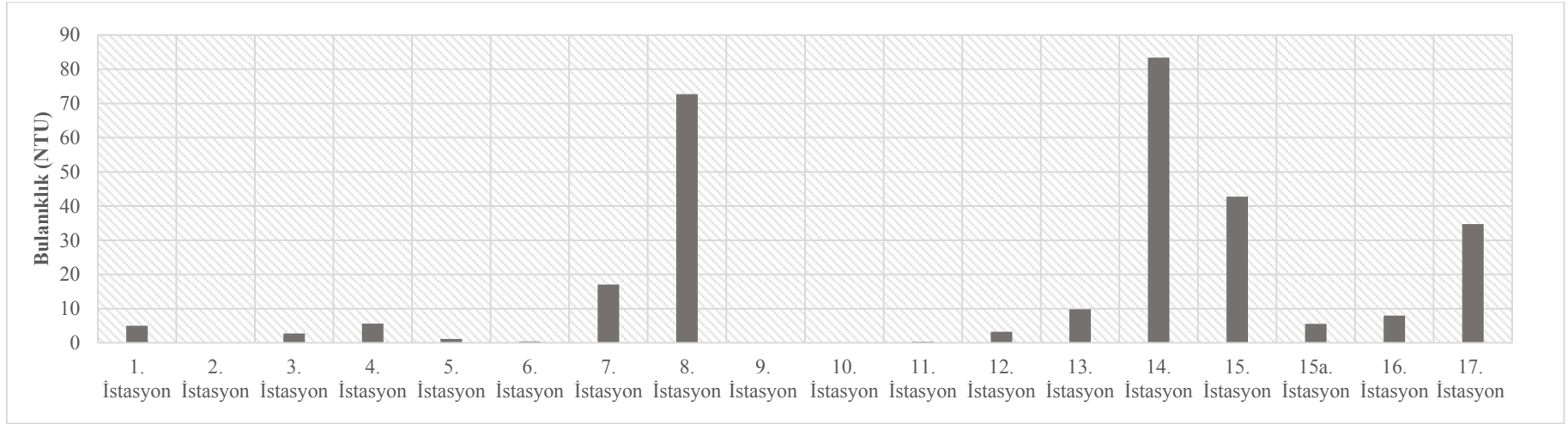
Şekil 4.83. Ekim 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



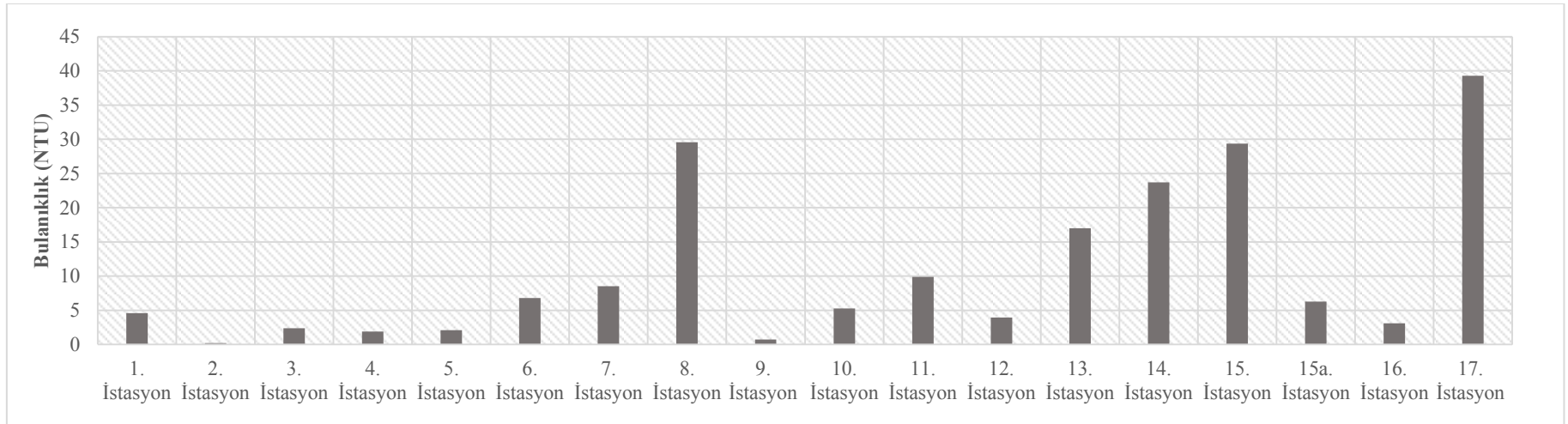
Şekil 4.84. Kasım 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



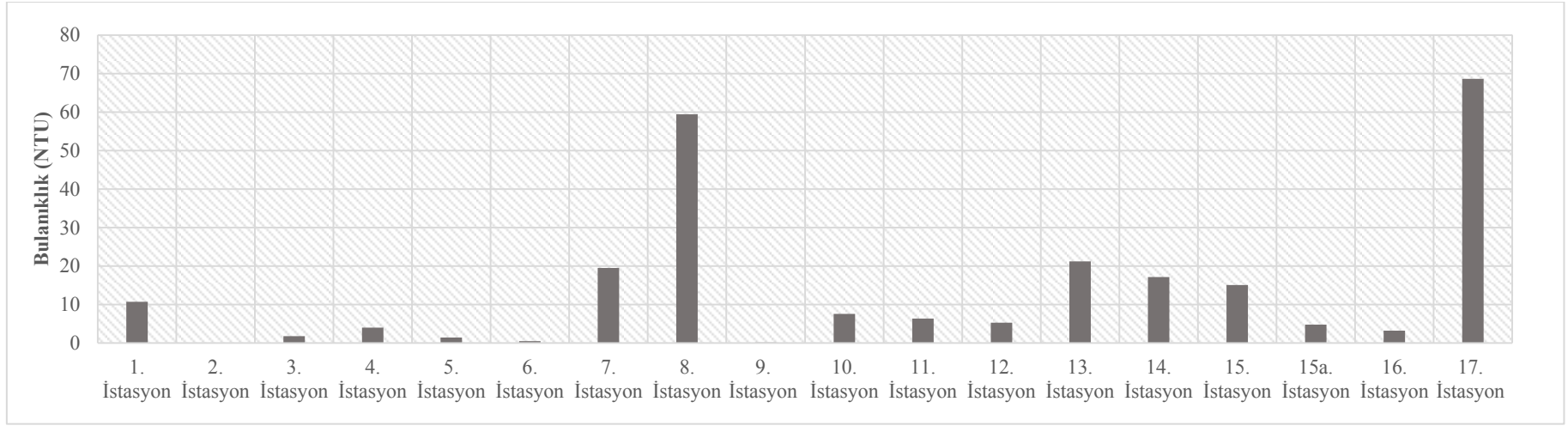
Şekil 4.85. Aralık 2016 bulanıklık seviyeleri (NTU)



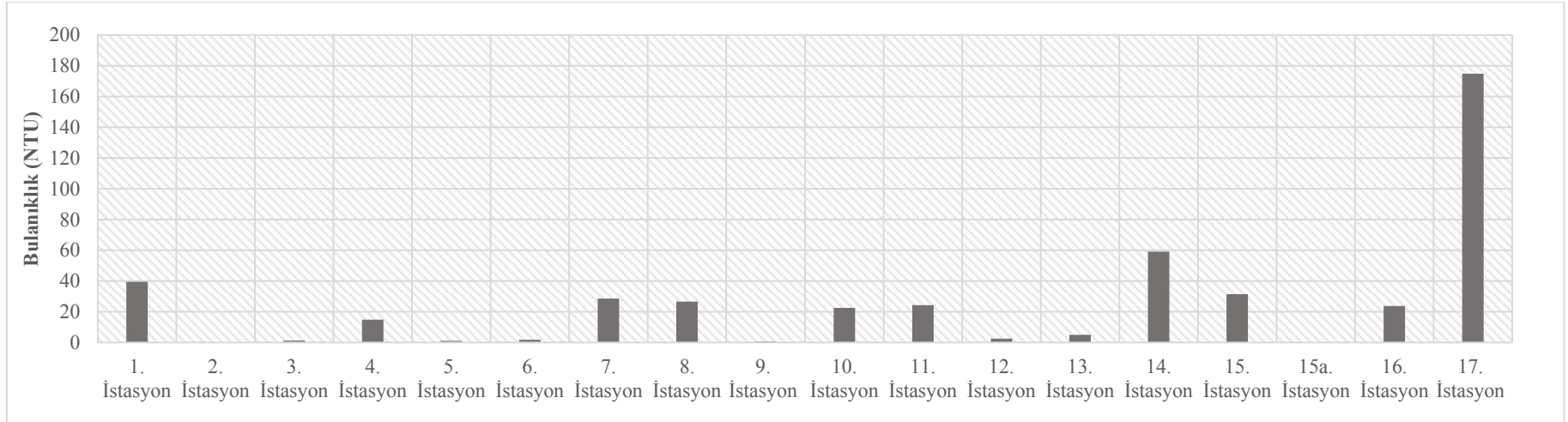
Şekil 4.86. Ocak 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU)



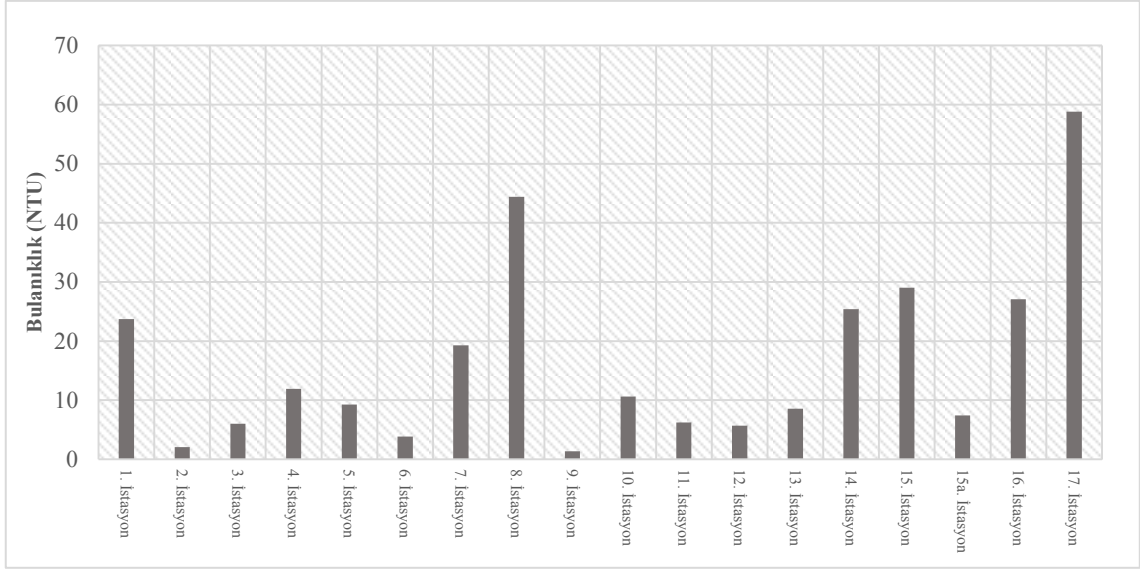
Şekil 4.87. Şubat 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU)



**Şekil 4.88.** Mart 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU)



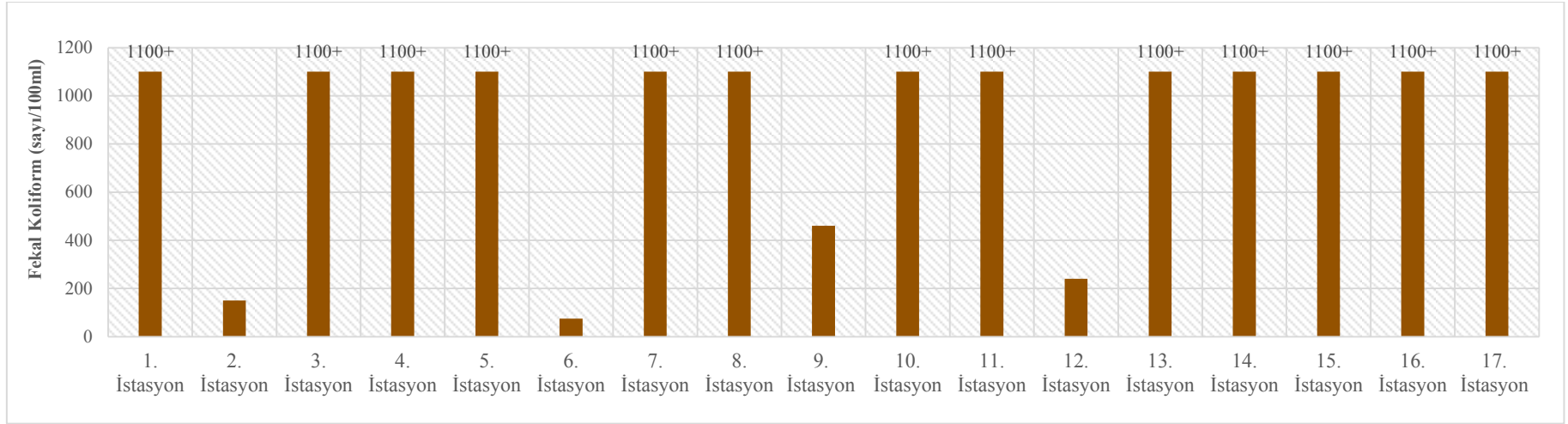
**Şekil 4.89.** Nisan 2017 bulanıklık seviyeleri (NTU)



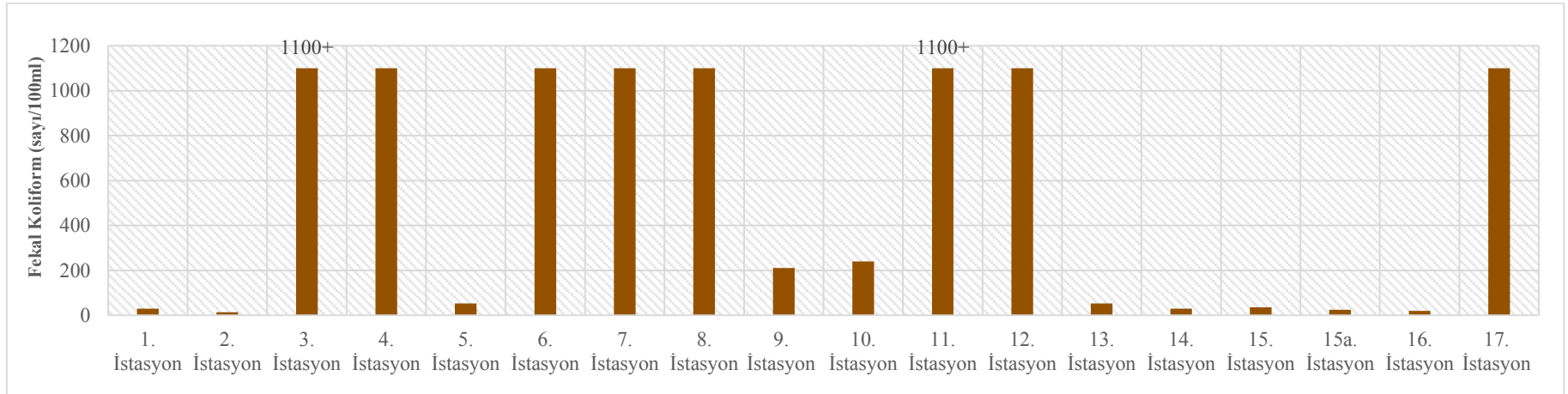
**Şekil 4.90.** Yıllık ortalama bulanıklık seviyeleri (NTU)

Yapılan analizler sonucunda hem aylık hem de yıllık ortalama bulanıklık seviyeleri incelendiğinde 1, 7, 8 ve 17. istasyonların yüksek bulanıklık seviyelerine sahip olduğu gözlenmiştir. En yüksek bulanık seviyesi 175,4 NTU olarak 2016 yılı Haziran ayında 16. istasyonda ölçülürken, 2016 yılı Eylül, Ekim ve 2017 yılı Ocak, Mart, Nisan aylarında 2. istasyonda bulanıklık tespit edilememiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde bulanıklık için herhangi bir limit değeri belirtilmezken, EU (2014) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2013)'de "Yüzeysel suyun arıtılması durumunda, arıtılmış sudaki bulanıklığın 1 NTU değerini aşmamasına dikkat edilmeli" ibaresine yer verilmiştir.

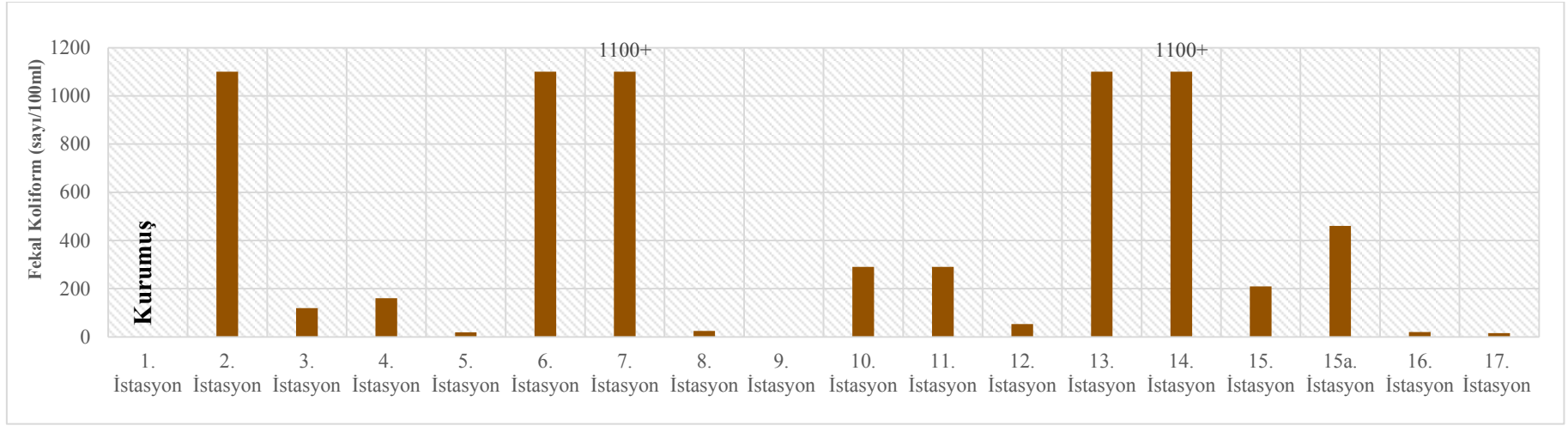




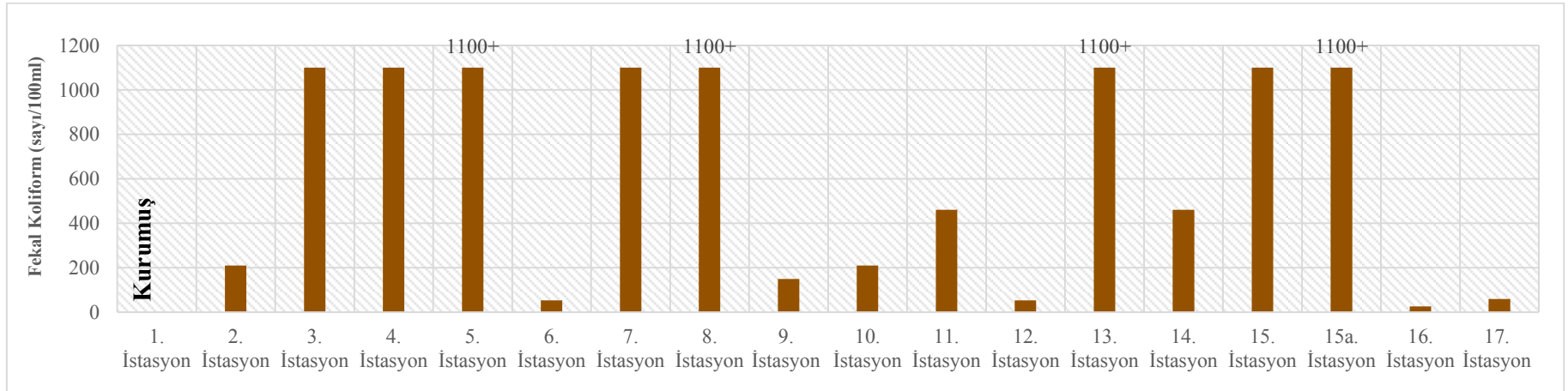
Şekil 4.91. Mayıs 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



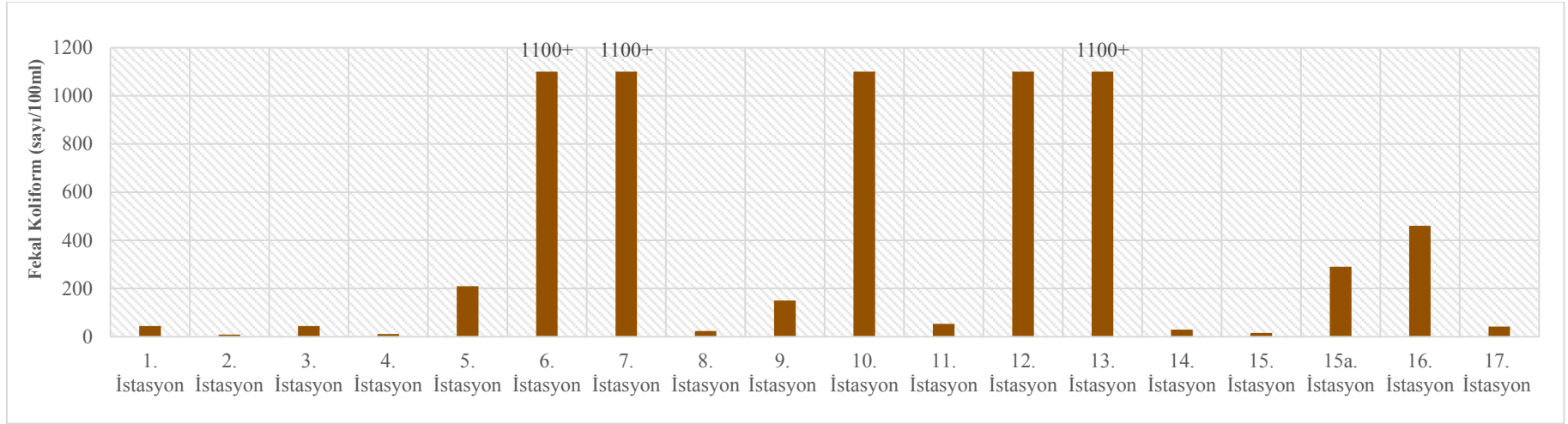
Şekil 4.92. Haziran 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



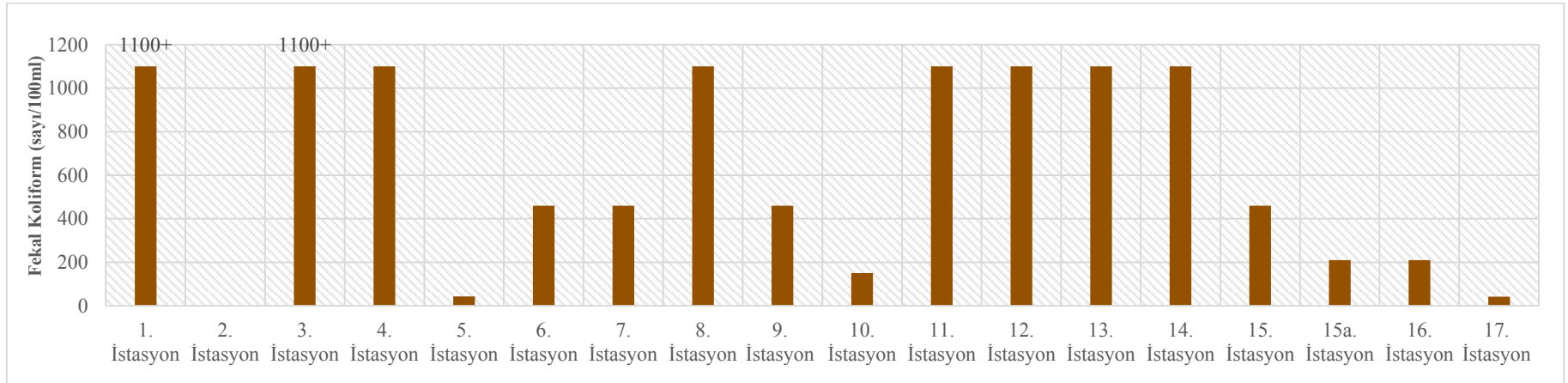
Şekil 4.93. Temmuz 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



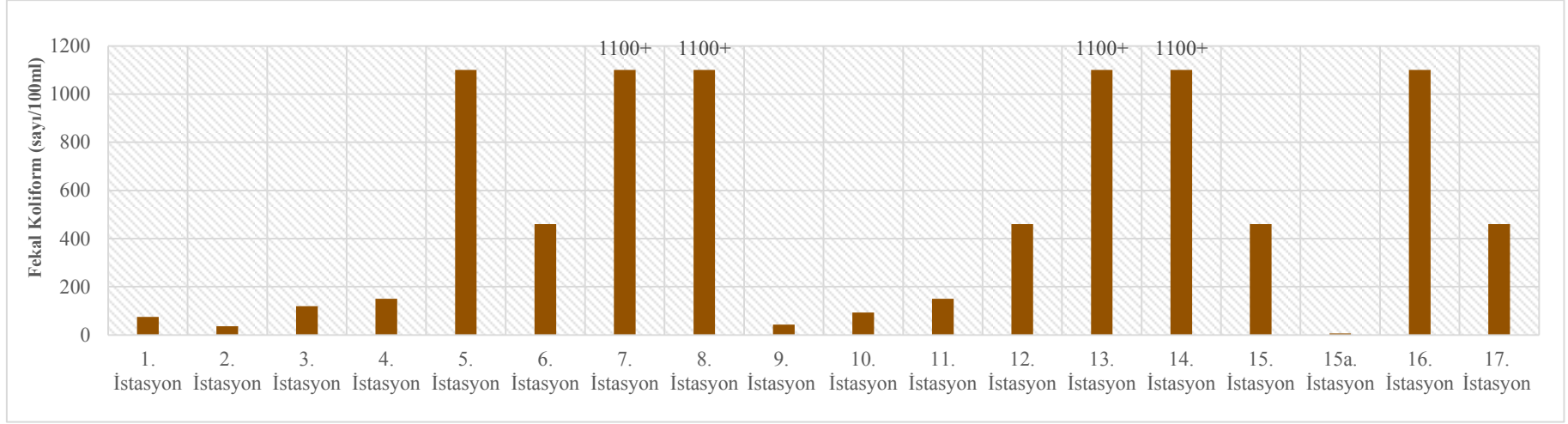
Şekil 4.94. Ağustos 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



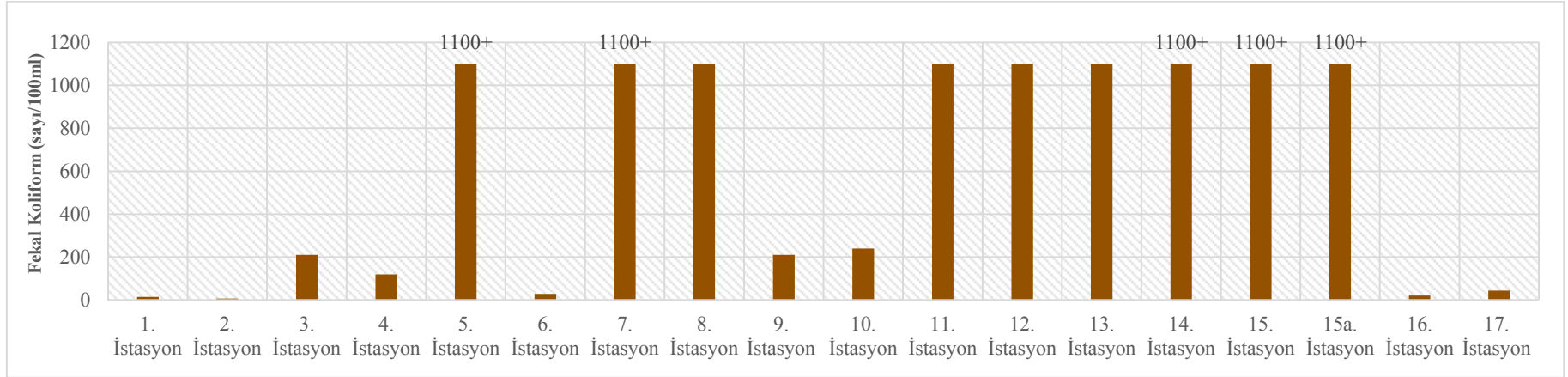
Şekil 4.95. Eylül 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



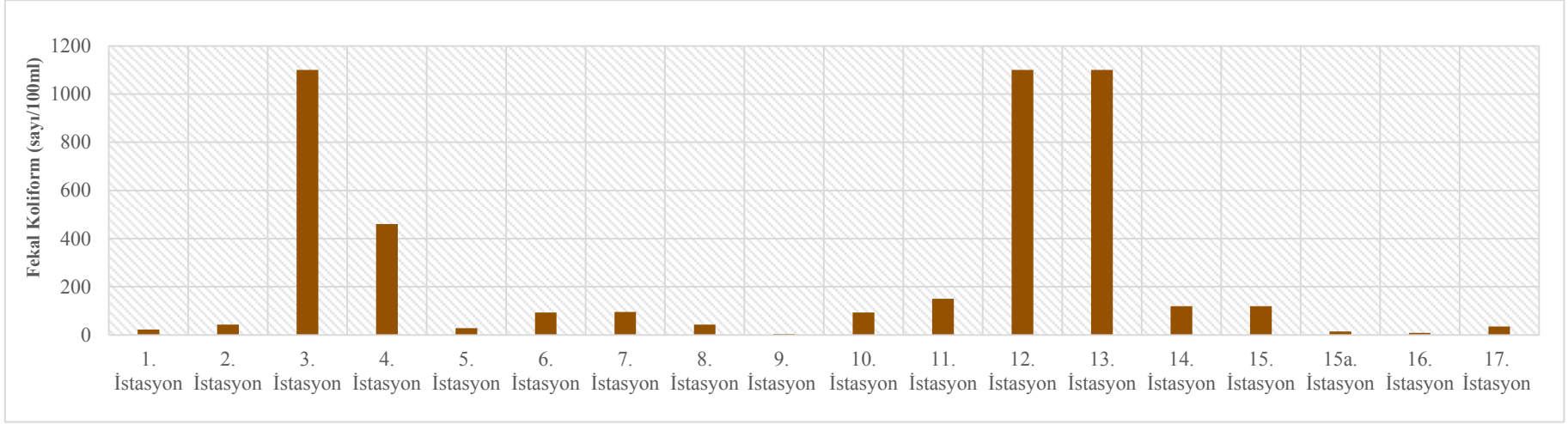
Şekil 4.96. Ekim 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



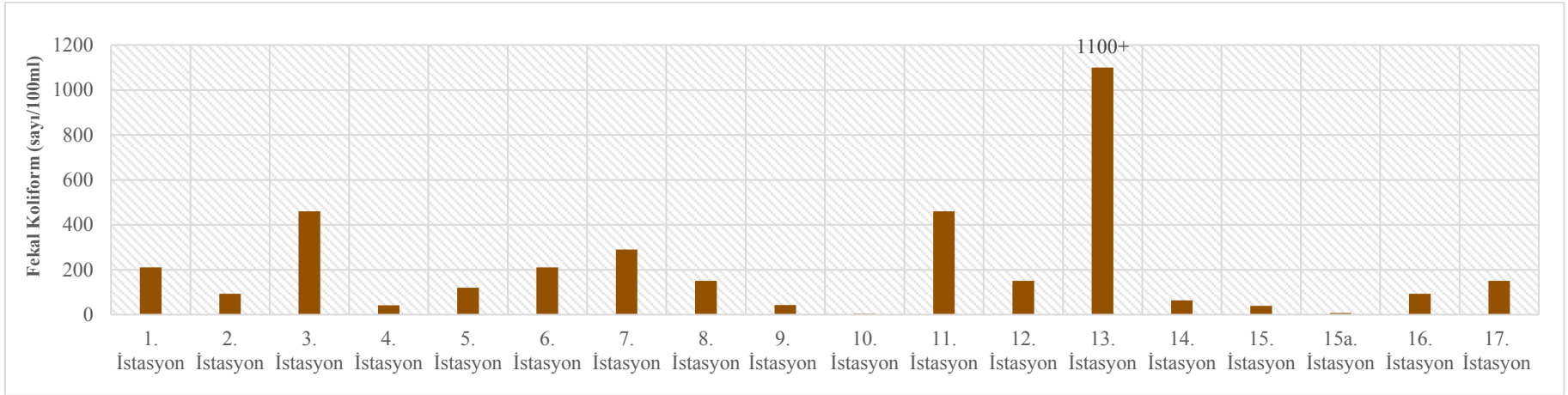
Şekil 4.97. Kasım 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



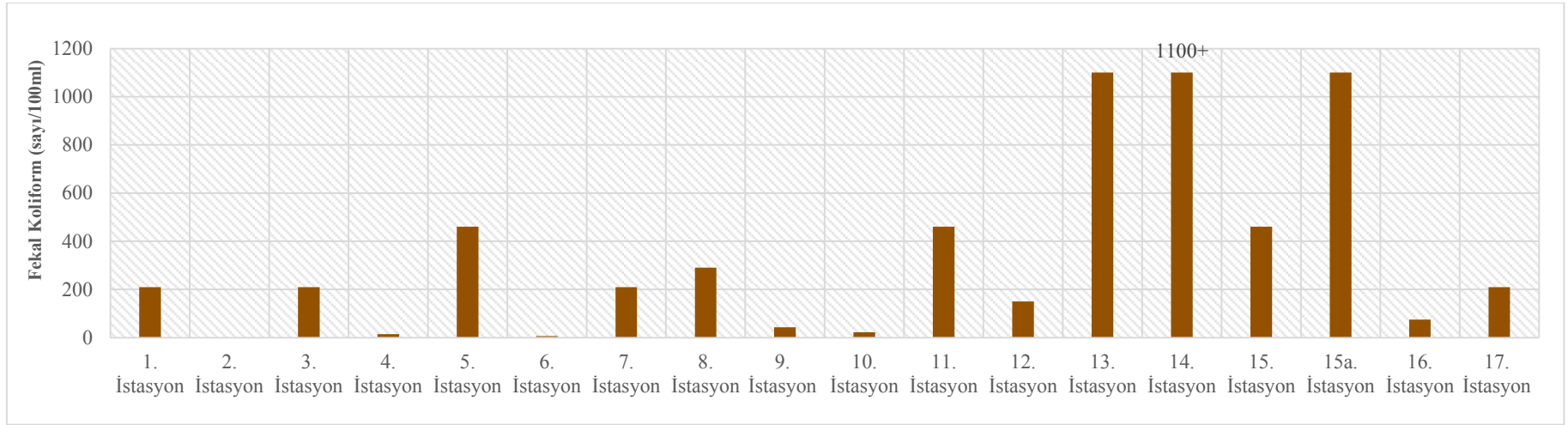
Şekil 4.98. Aralık 2016 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



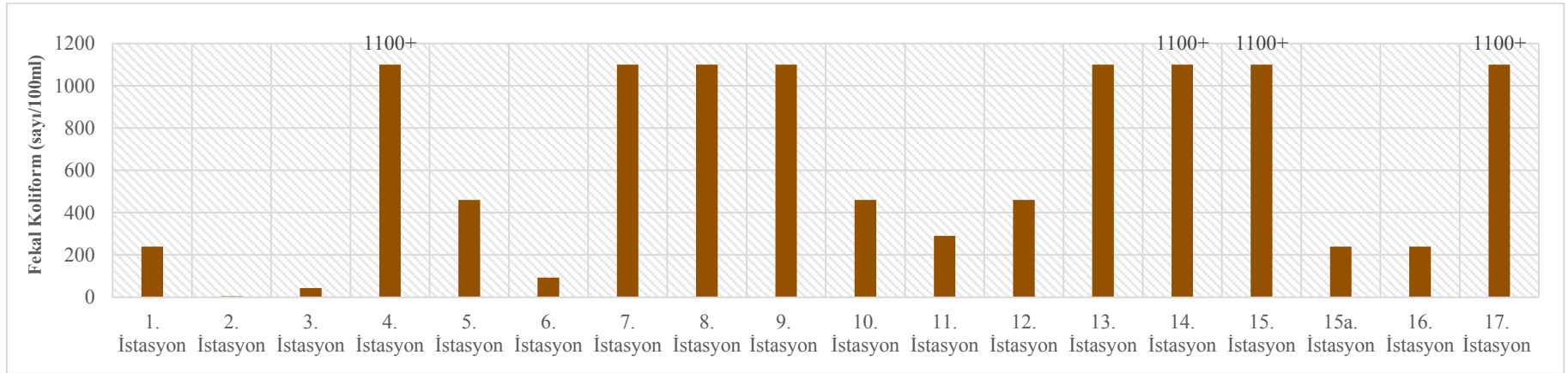
Şekil 4.99. Ocak 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)



Şekil 4.100. Şubat 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)

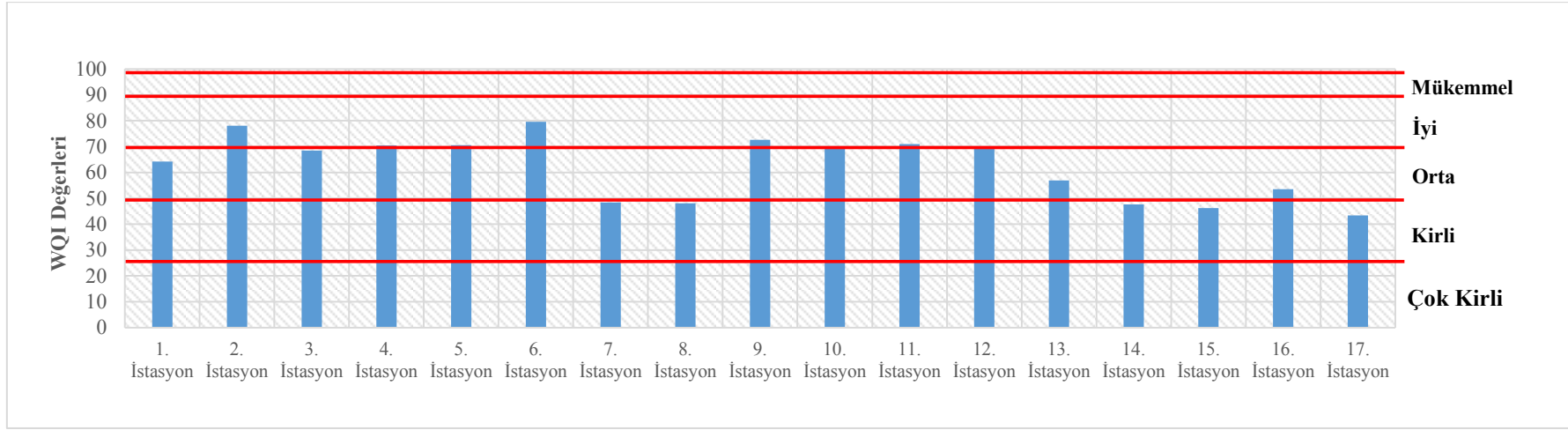


Şekil 4.101. Mart 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)

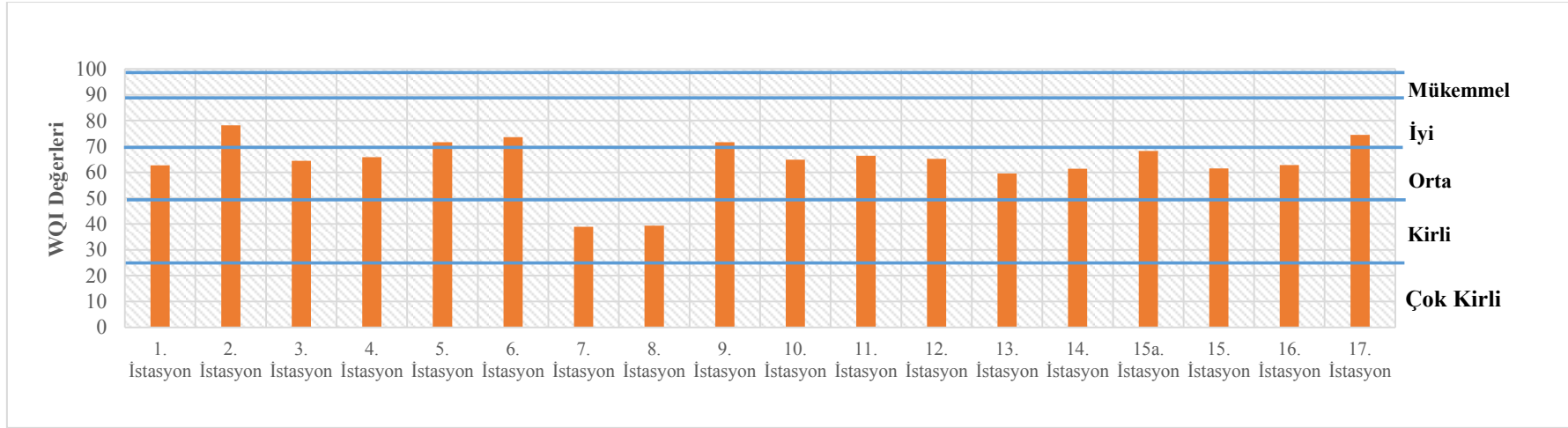


Şekil 4.102. Nisan 2017 fekal koliform seviyeleri (sayı/100 ml)

2016 yılı Mayıs ayında 2, 6, 9 ve 12. İstasyonların dışındaki tüm istasyonlarda fekal koliform seviyesi 1100/100 ml'den fazla olarak saptanmıştır. En düşük seviye ise 75/100 ml olarak 6. istasyonda ölçülmüştür (Şekil 4.91). Haziran ayında sadece 3 ve 11. istasyonların 1100/100 ml'den fazla fekal koliforma sahip olduğu belirlenmiş olup, en düşük fekal koliform ise 2. istasyonda ölçülmüştür (Şekil 4.92). Temmuz ve Ağustos aylarında 1. istasyon kuruduğu ve yeterli miktarda su bulunmadığı için örnek alınamamıştır. Temmuz ayında 7 ve 14. istasyonların, Ağustos ayında ise 5, 8, 13 ve 15a. istasyonların 1100/100 ml'den fazla fekal koliforma sahip olduğu tespit edilmiştir. Eylül ayında 6, 7, 12 ve 13. istasyonların, Ekim ayında ise 1 ve 3. istasyonların 1100/100 ml'den fazla fekal koliforma sahip olduğu belirlenirken, Ekim ayında 2. istasyonun fekal koliform seviyesinin 3/100 ml'den az olduğu tespit edilmiştir. Kasım ayında 7, 8, 13 ve 14. istasyonlarda fekal koliform seviyesi 1100/100 ml'den fazla olduğu gözlenirken, en düşük seviyenin ise 6/100 ml olarak 15a. istasyonda olduğu belirlenmiştir. Aralık ayında 5, 7, 14, 15 ve 15a. istasyonlarda fekal koliform seviyesinin 1100/100 ml'den fazla olduğu belirlenirken, Ocak ayında bu seviyeyi aşan hiçbir istasyon tespit edilmemiştir. Şubat ve Mart aylarında sadece 13 ve 14. istasyonların 1100/100 ml'den fazla fekal koliforma sahip olduğu tespit edilmiştir. Nisan ayında ise 4, 14, 15 ve 17. istasyonların 1100/100 ml'den fazla fekal koliforma sahip olduğu belirlenirken, 2. istasyonun 4/100 ml ile en düşük fekal koliform seviyesine sahip olduğu belirlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde fekal koliform için herhangi bir limit değer belirtilmezken, EU (2014) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2013)'de koliform bakteriler için istenilen değerin 0/100 ml olduğu belirtilmektedir. Bu durumda tüm aylarda ve tüm istasyonlarda elde edilen fekal koliform seviyelerinin istenilen değerin çok üzerinde olduğu görülmektedir.

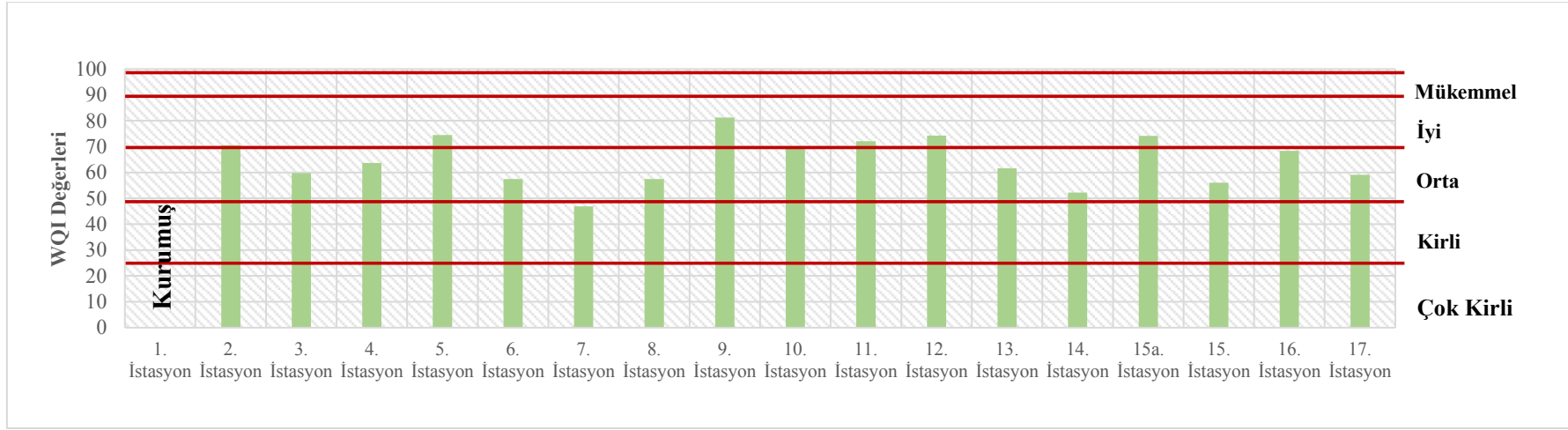


Şekil 4.103. Mayıs 2016 WQI değerleri

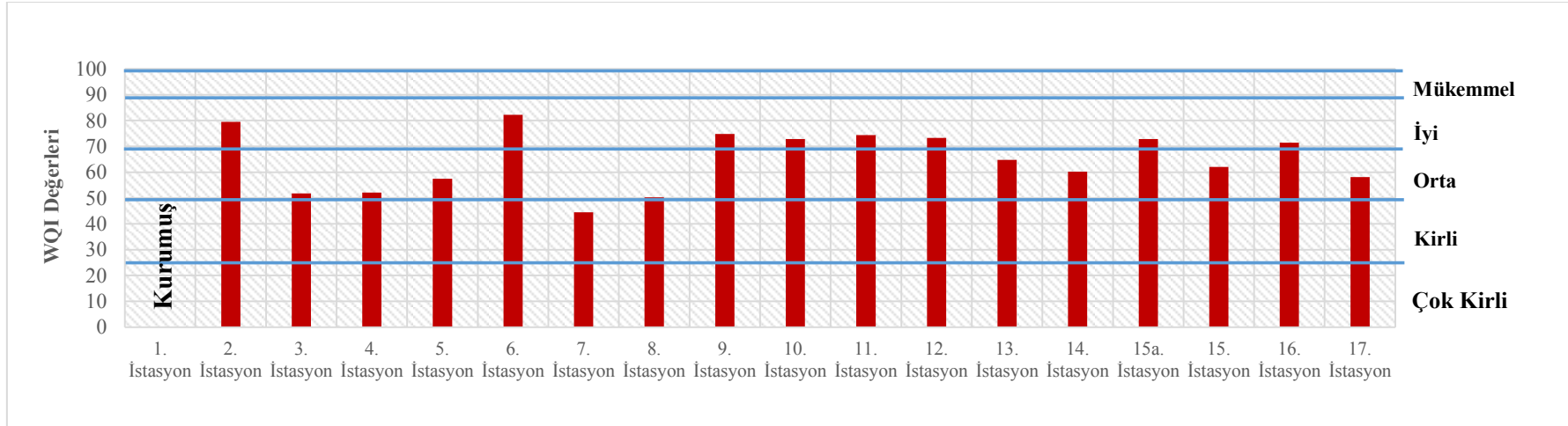


Şekil 4. 104. Haziran 2016 WQI değerleri

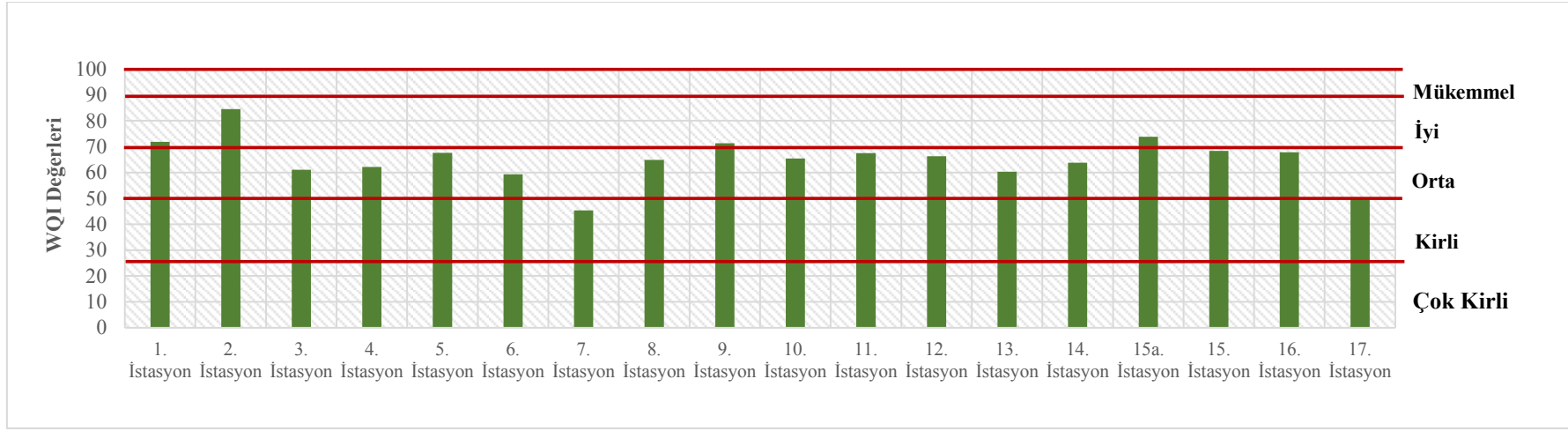




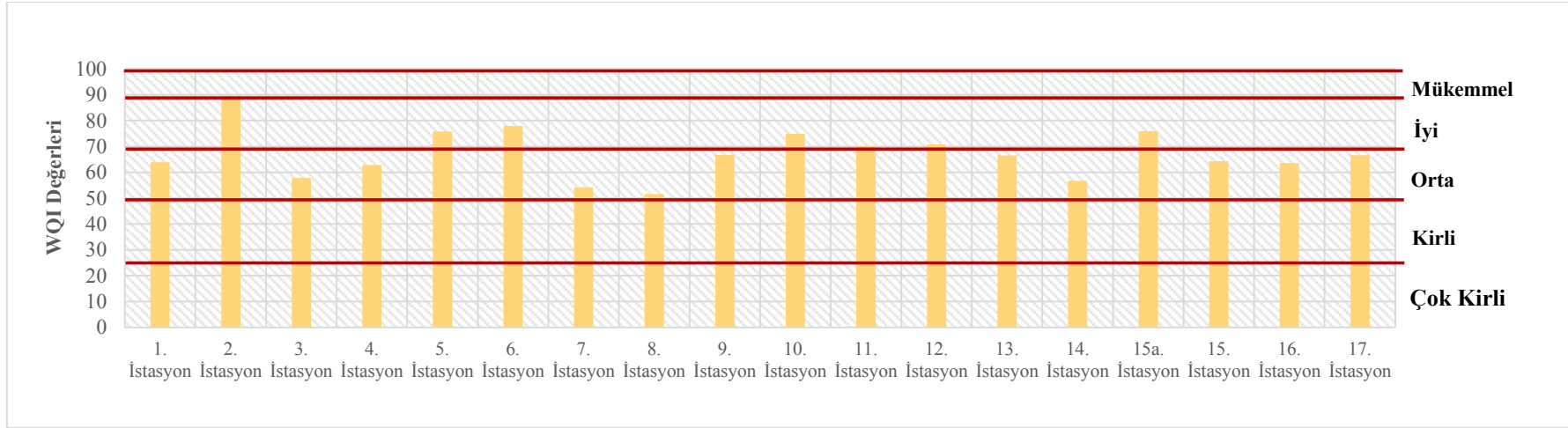
Şekil 4.105. Temmuz 2016 WQI değerleri



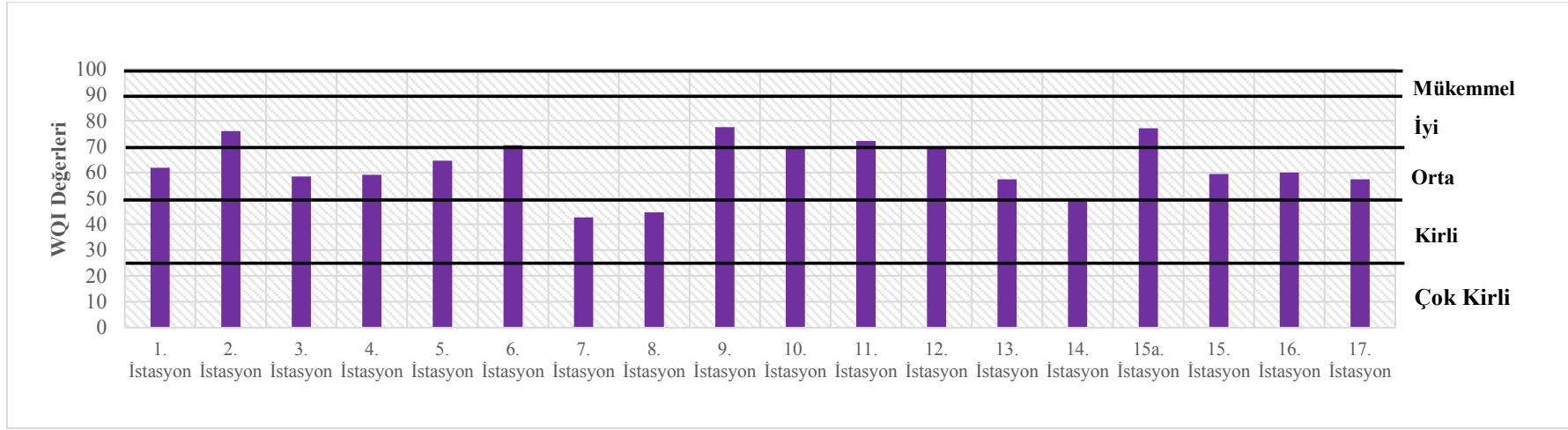
Şekil 4.106. Ağustos 2016 WQI değerleri



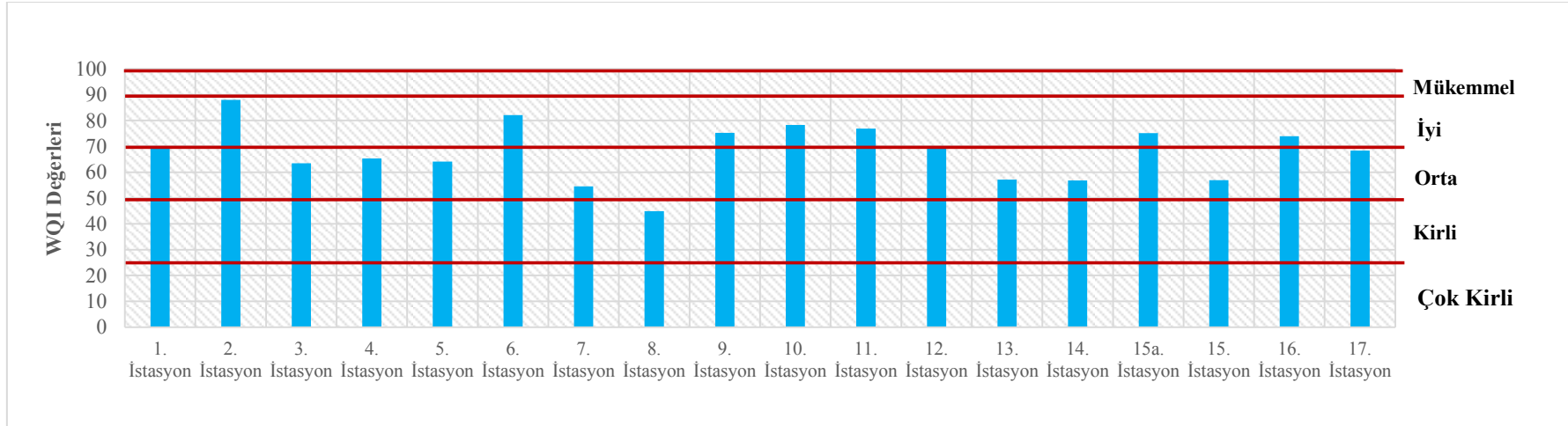
Şekil 4.107. Eylül 2016 WQI değerleri



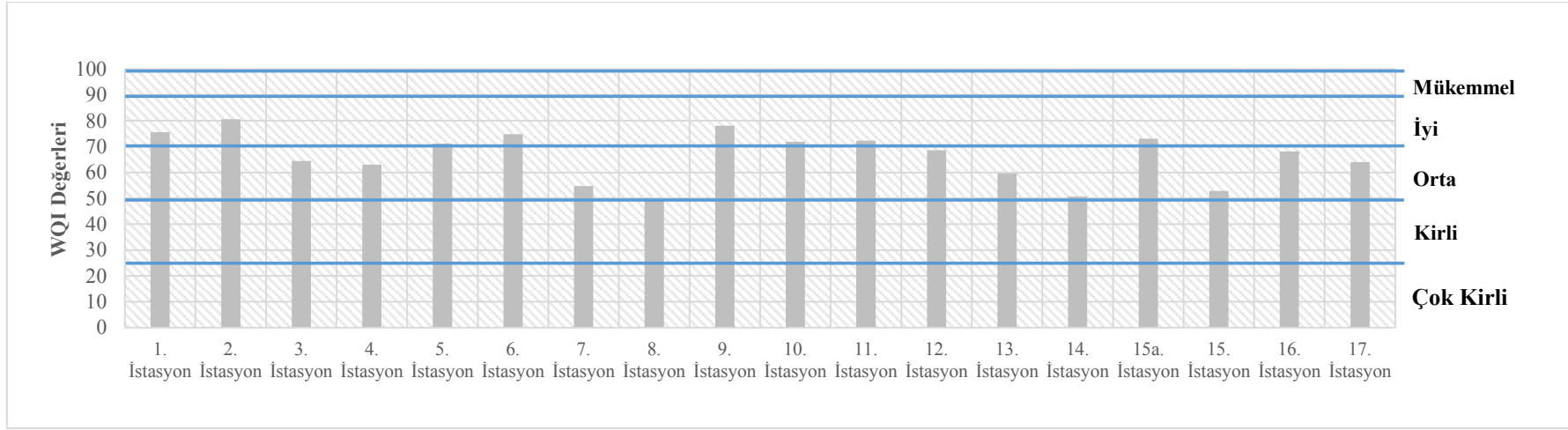
Şekil 4.108. Ekim 2016 WQI değerleri



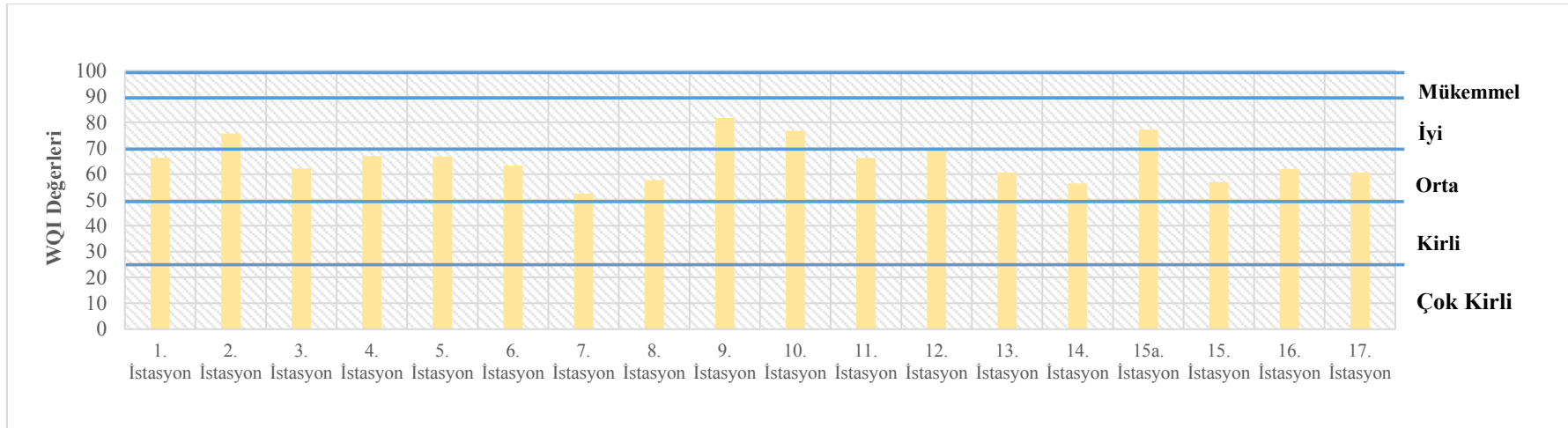
Şekil 4.109. Kasım 2016 WQI değerleri



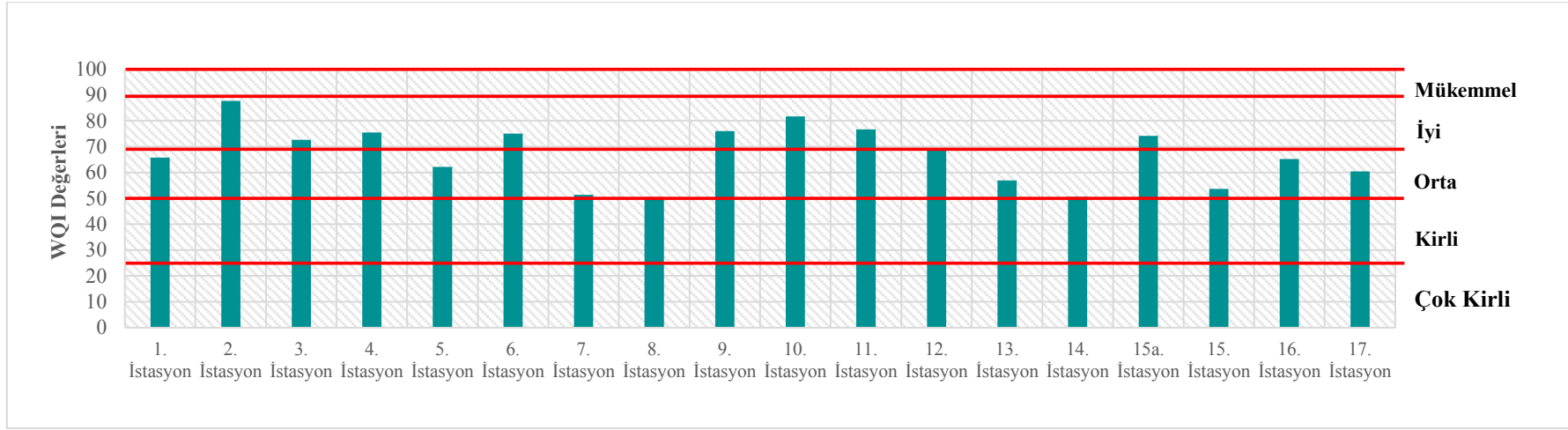
Şekil 4.110. Aralık 2016 WQI değerleri



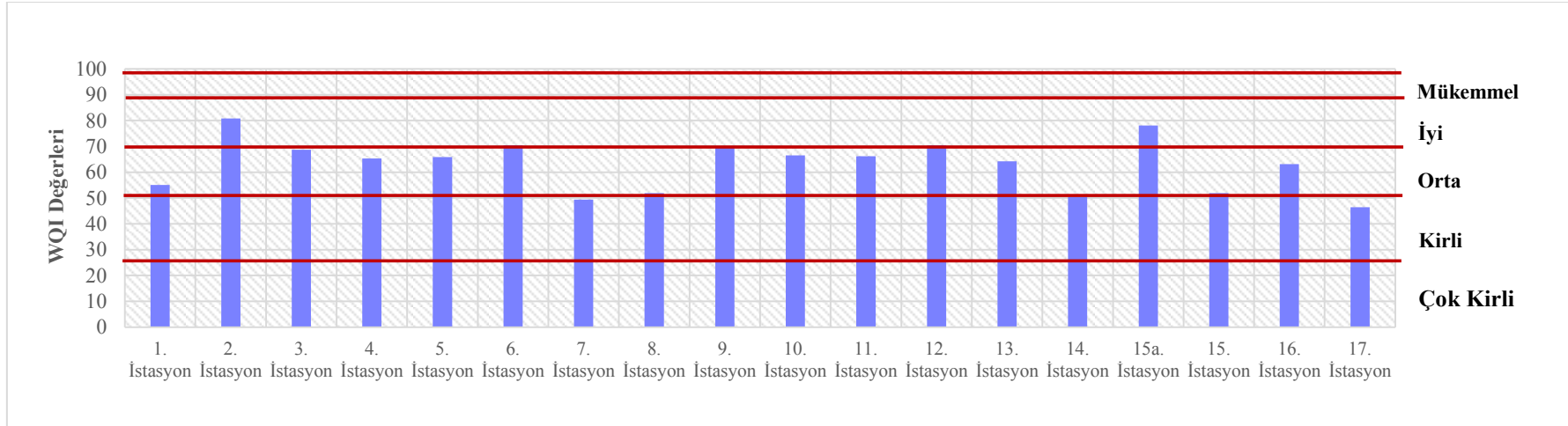
Şekil 4.111. Ocak 2017 WQI değerleri



Şekil 4.112. Şubat 2017 WQI değerleri

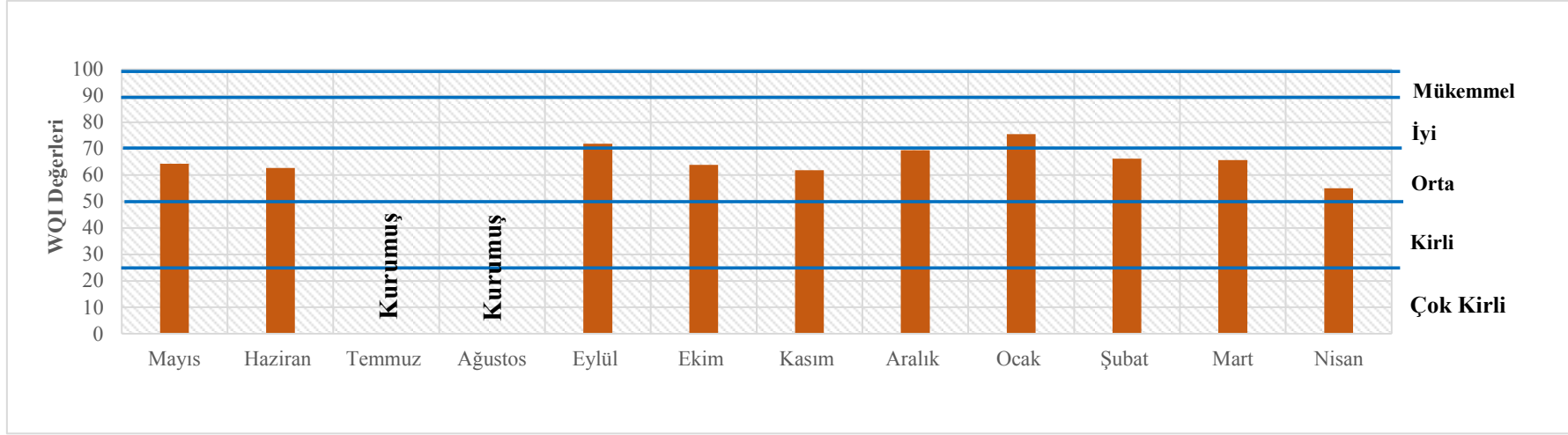


Şekil 4.113. Mart 2017 WQI değerleri

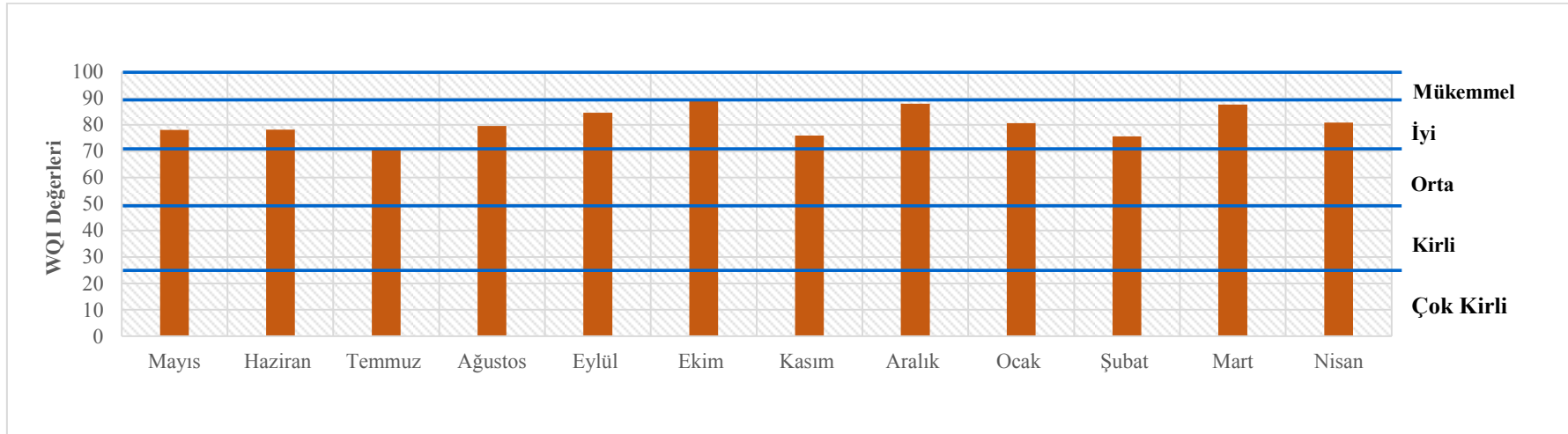


Şekil 4.114. Nisan 2017 WQI değerleri

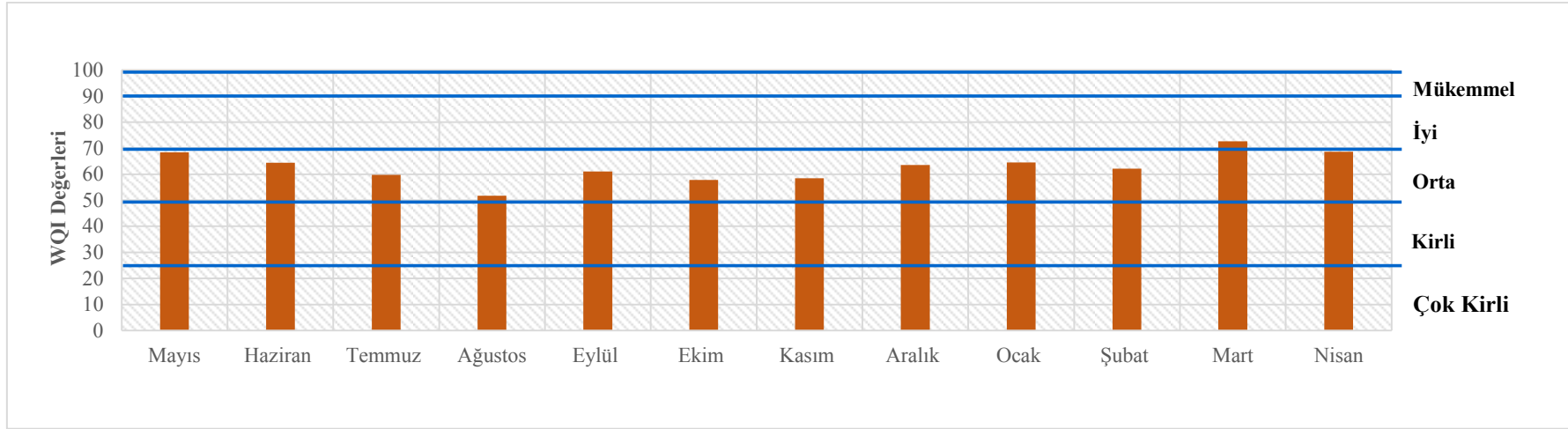
Yapılan çalışmalarda, 2016 yılı Mayıs ayında 2, 4, 5, 6, 9, 10 ve 11. istasyonların NSF-WQI'ine göre iyi su kalite sınıfında, 1, 3, 12, 13 ve 16. istasyonların orta kalite sınıfında, 7, 8, 14, 15 ve 17. istasyonlarında kirli su kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.103). Haziran ayında, 2, 5, 6, 9 ve 17. istasyonların iyi kalite sınıfında, 1, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 14, 15a, 15 ve 16. istasyonların orta kalite sınıfında, 7 ve 8. istasyonların ise kirli kalite sınıfında yer aldığı saptanmıştır (Şekil 4.104). Temmuz ve Ağustos aylarında 1. istasyonda kuruluk yaşanarak yeterli miktarda su bulunmadığı için örnek alınamamıştır. Temmuz ayında, 2, 5, 9, 11, 12 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 3, 4, 6, 8, 10, 13, 14, 15, 16 ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.105). Ağustos ayında, 2, 6, 9, 10, 11, 12 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 3, 4, 5, 8, 13, 14, 15 ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında yer aldığı saptanmıştır (Şekil 4.106). Eylül ayında, 1, 2, 9 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16 ve 17. İstasyonların orta kalite sınıfında yer aldığı saptanmıştır (Şekil 4.107). Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında sadece 7. istasyonun kirli kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Ekim ayında, 2, 5, 6, 10, 11,12 ve 15. istasyonların iyi kalite sınıfında, 1, 3, 4, 7, 8, 9, 13, 14, 15, 16 ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.108). Kasım ayında, 2, 6, 9, 11 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 1, 3, 4, 5, 12, 13, 15, 16 ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında, 7, 8 ve 14. istasyonların ise kirli kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.109). Aralık ayında, 2, 6, 9, 10, 11 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 1, 3, 4, 5, 7, 12, 13, 14, 15, ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında, sadece 8. istasyonun kirli kalite sınıfında yer aldığı saptanmıştır (Şekil 4.110). 2017 yılı Ocak ayında, 1, 2, 5, 6, 9, 10, 11 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 3, 4, 7, 12, 13, 14, 15, 16 ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında, 8. İstasyonun ise kirli kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.111). Şubat ayında, 2, 9, 10, 12 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 16 ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.112). Mart ayında, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, ve 14. istasyonların iyi kalite sınıfında, 1, 5, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16 ve 17. istasyonların orta kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.113). Nisan ayında, 2, 6, 12 ve 15a. istasyonların iyi kalite sınıfında, 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15 ve 16. istasyonların orta kalite sınıfında, 7 ve 17. istasyonların ise kirli kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 4.114). Aynı zamanda istasyonların aylara göre değerlendirmeleri de yapılmış ve Şekil 4.115 – Şekil 4.132'da verilmiştir.



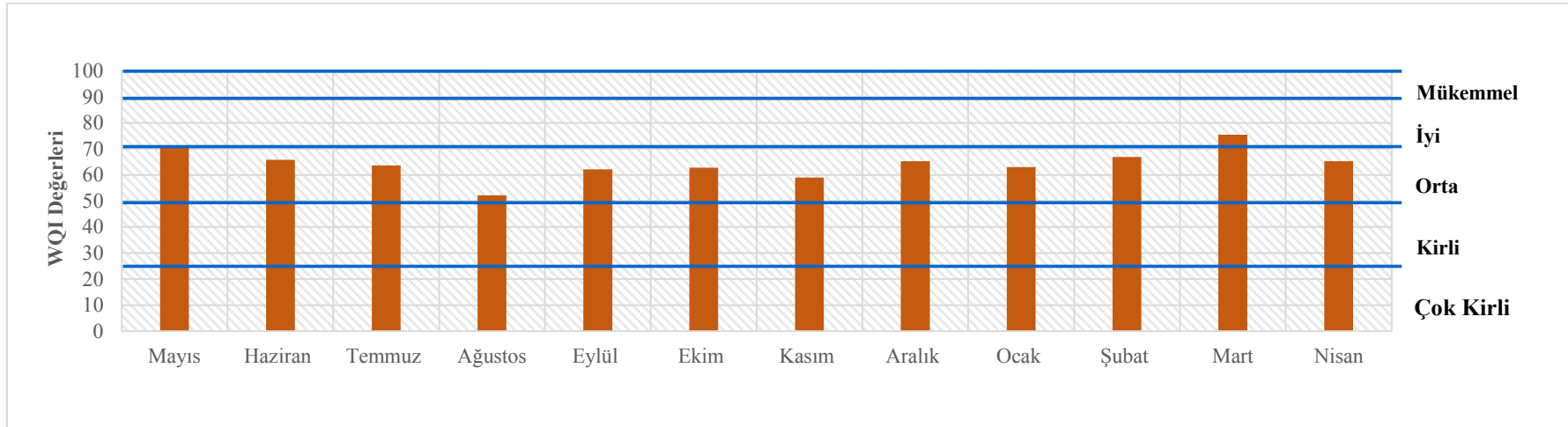
Şekil 4.115. 1. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



Şekil 4.116. 2. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi

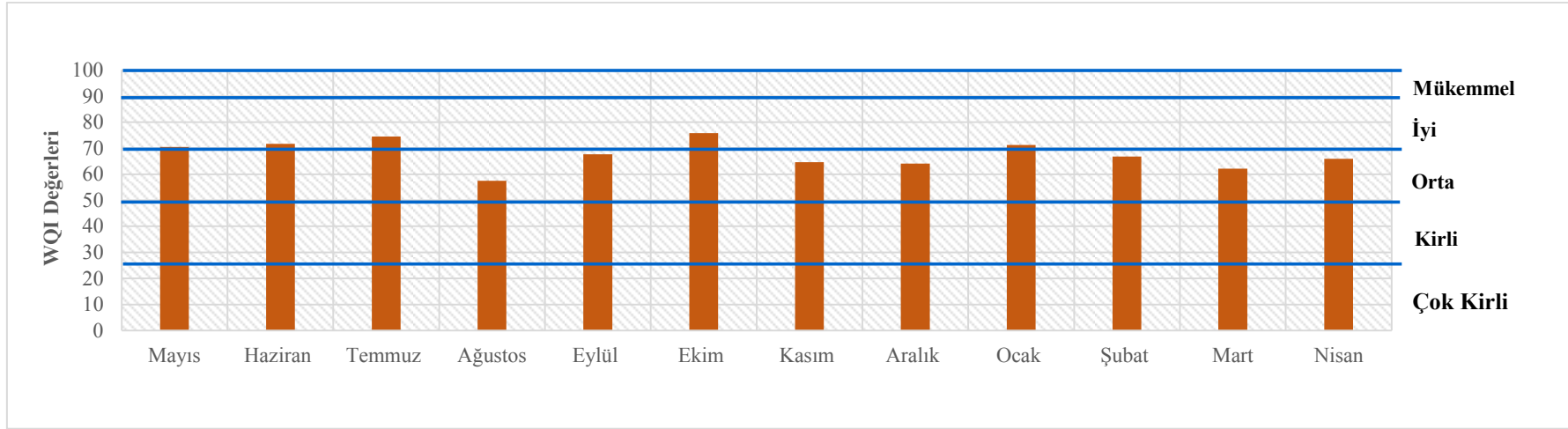


Şekil 4.117. 3. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi

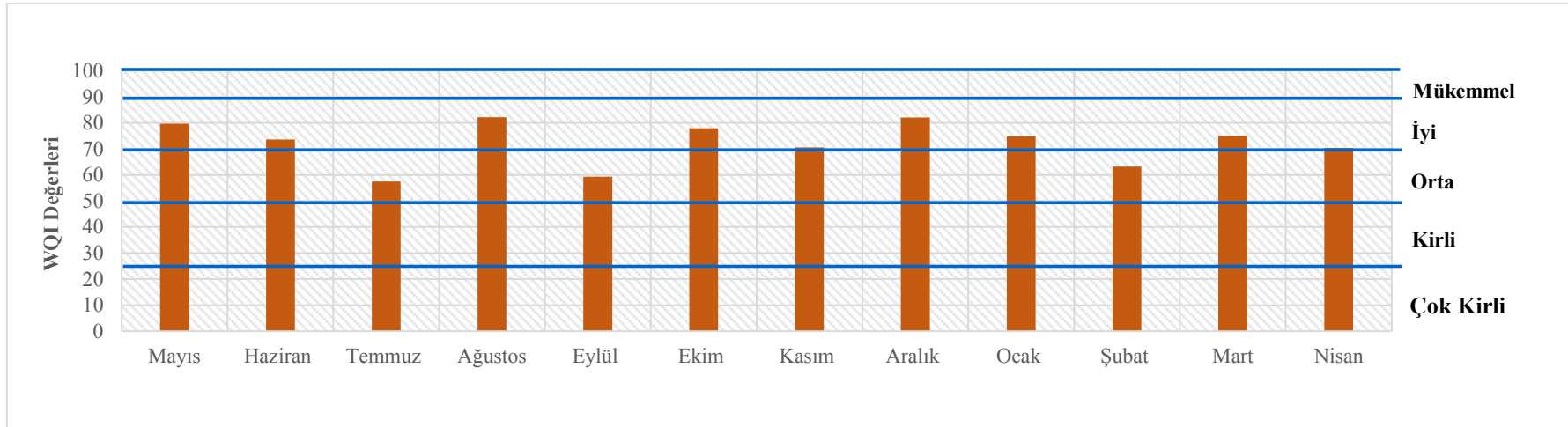


Şekil 4.118. 4. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi

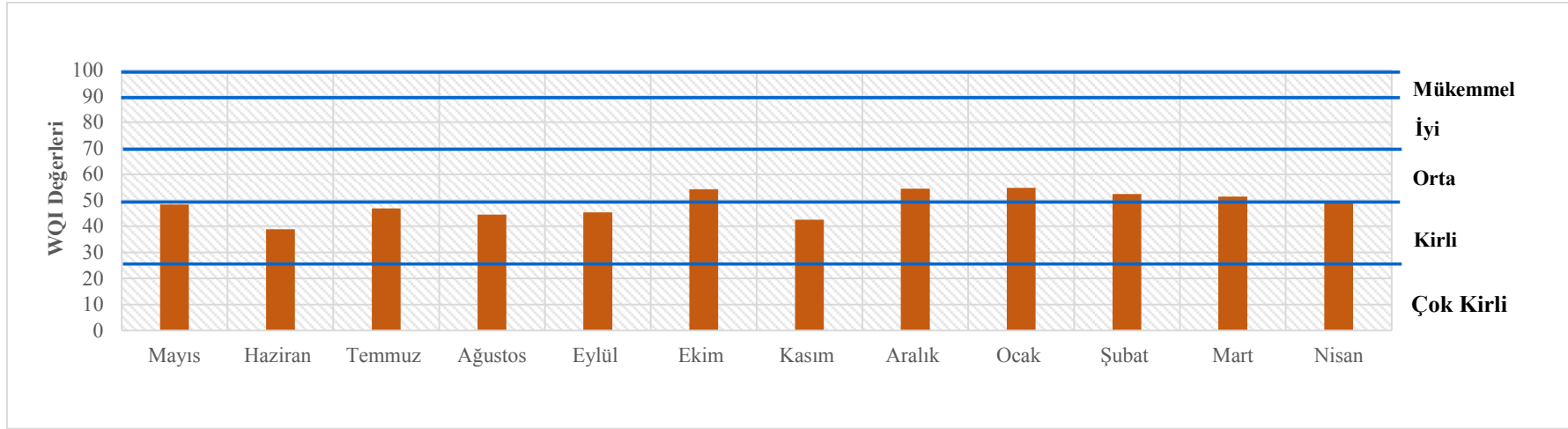




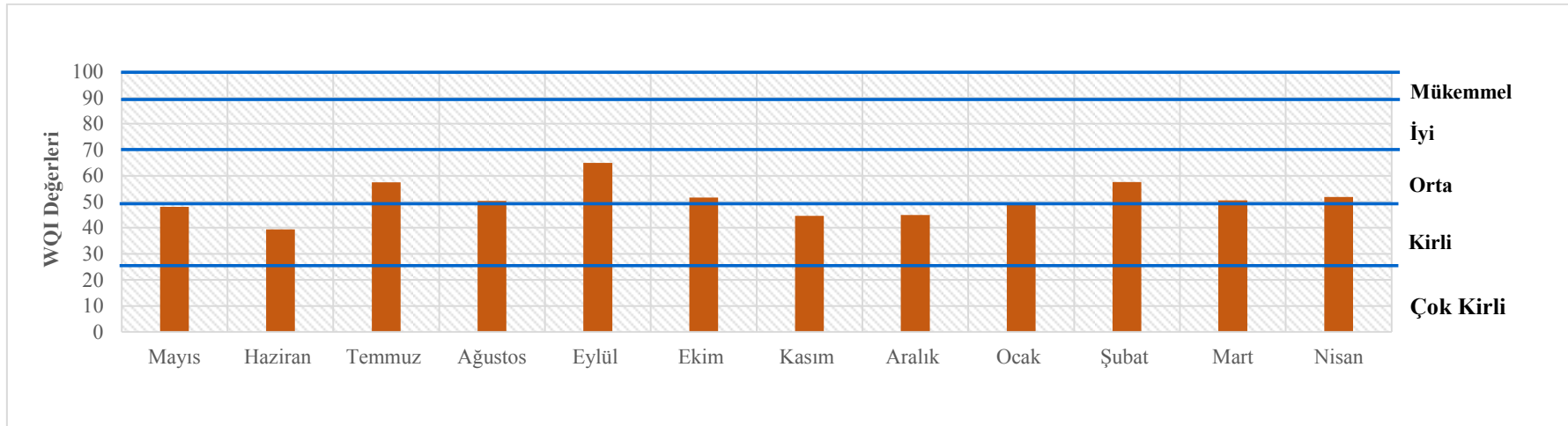
Şekil 4.119. 5. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



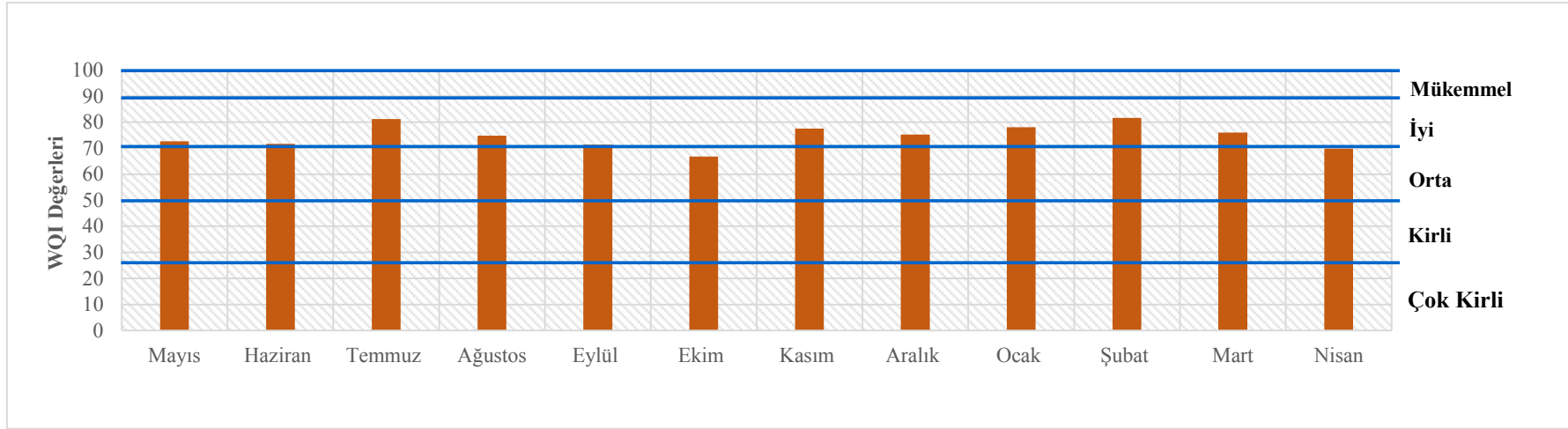
Şekil 4.120. 6. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



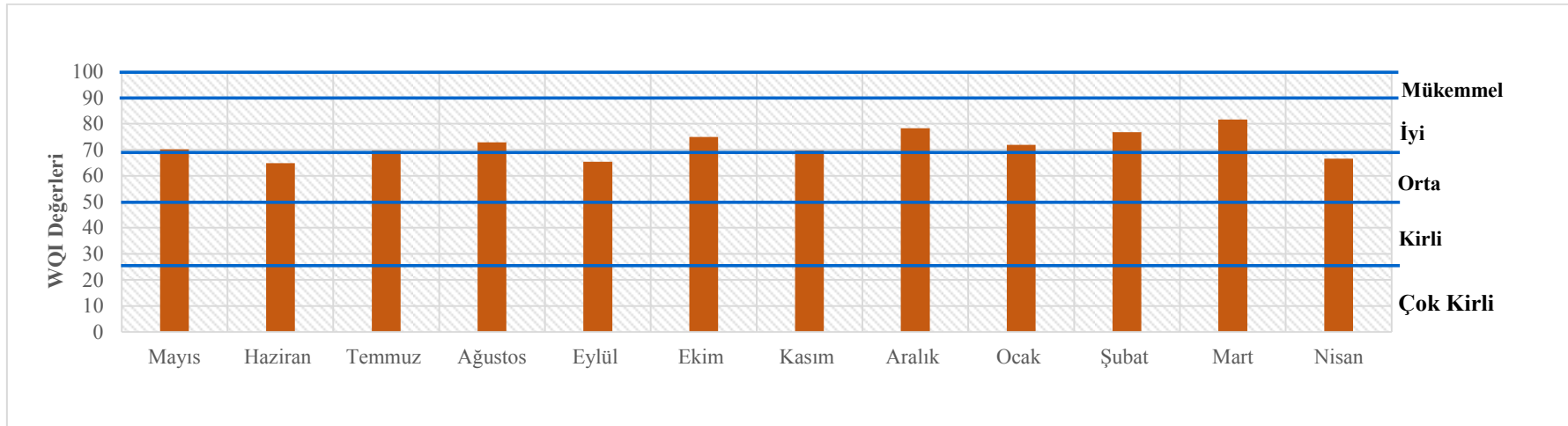
Şekil 4.121. 7. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



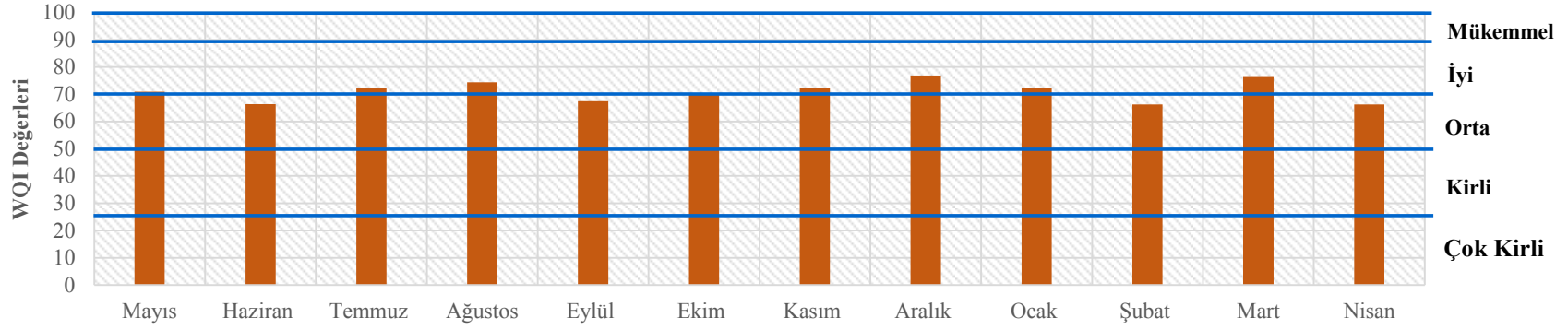
Şekil 4.122. 8. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



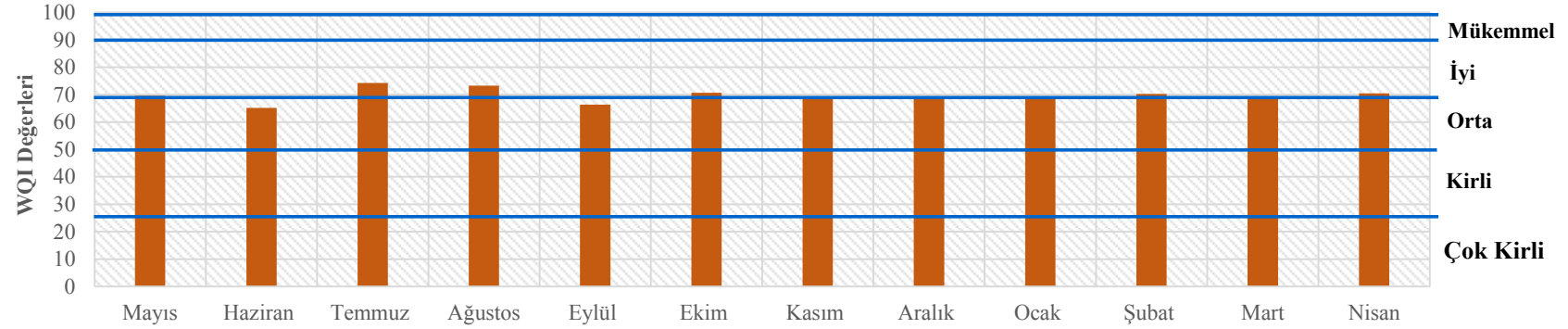
Şekil 4.123. 9. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



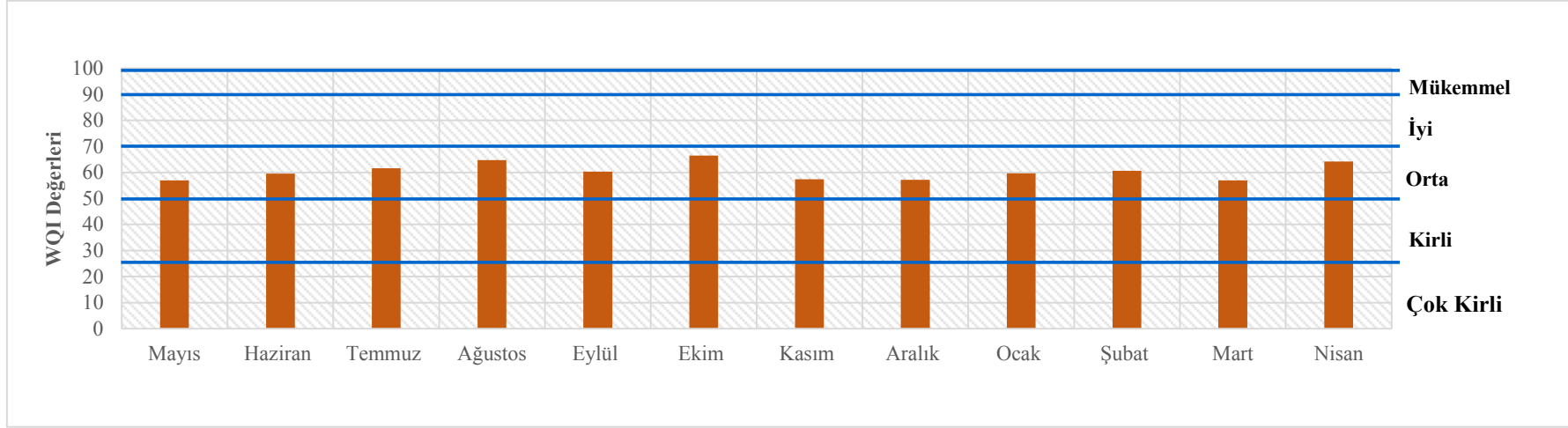
Şekil 4.124. 10. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



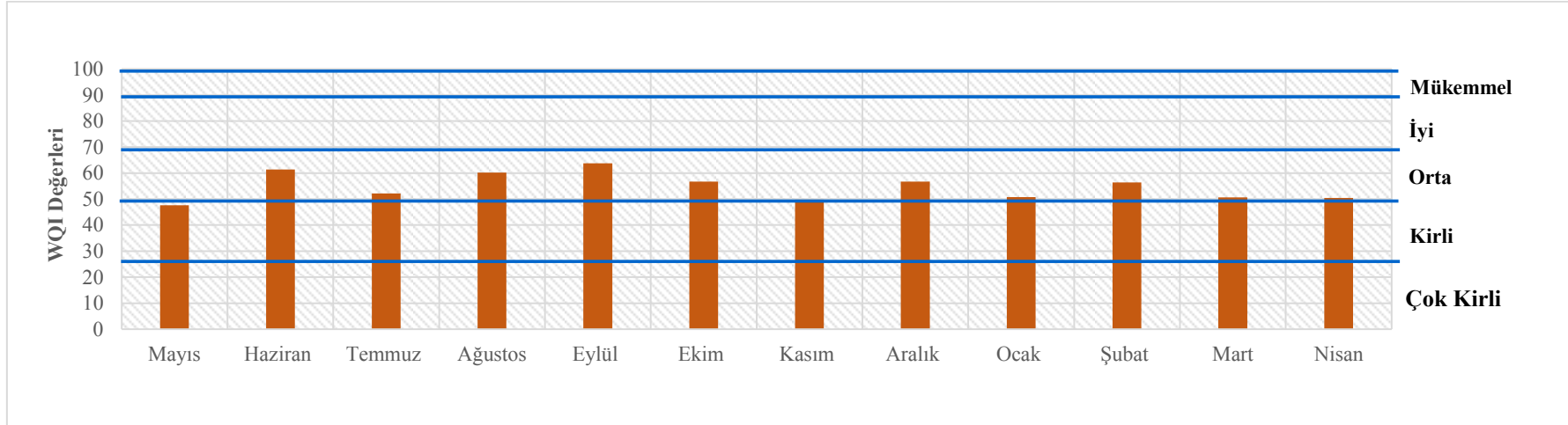
Şekil 4.125. 11. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



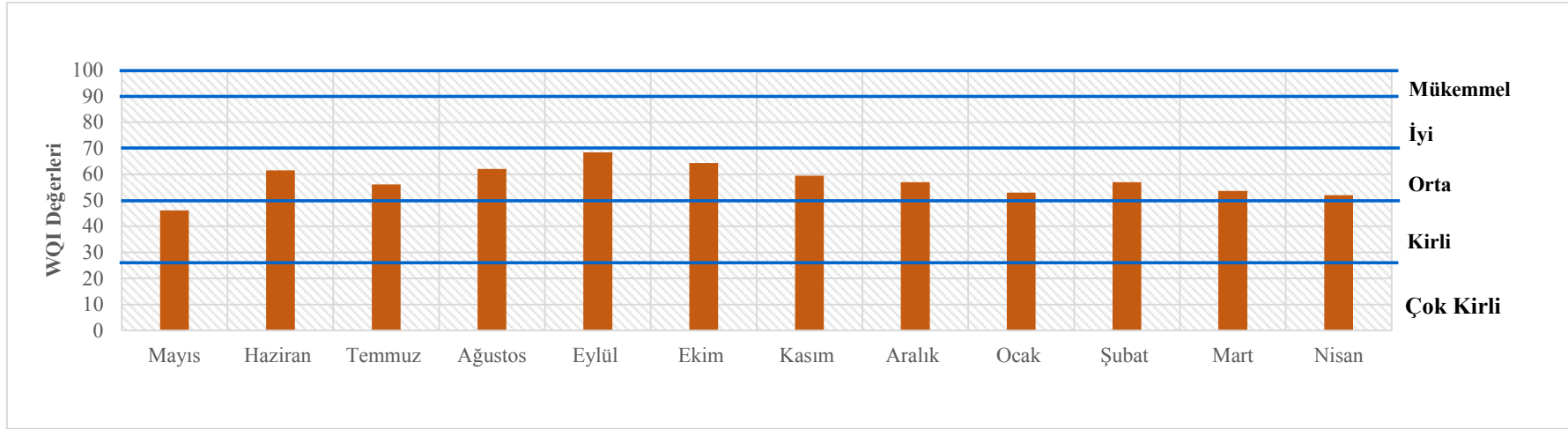
Şekil 4.126. 12. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



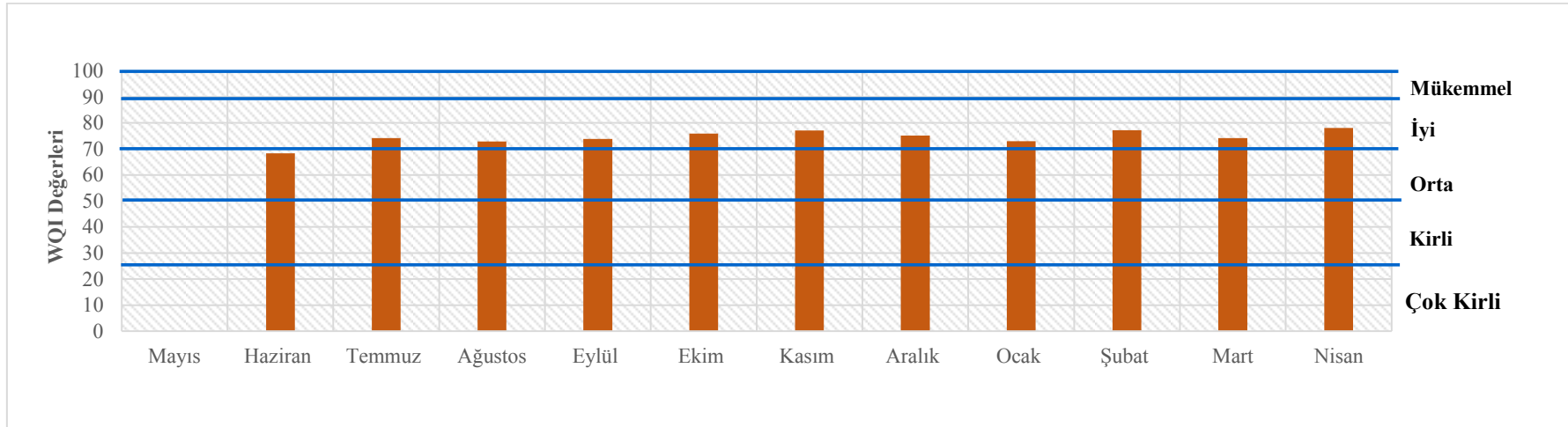
Şekil 4.127. 13. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



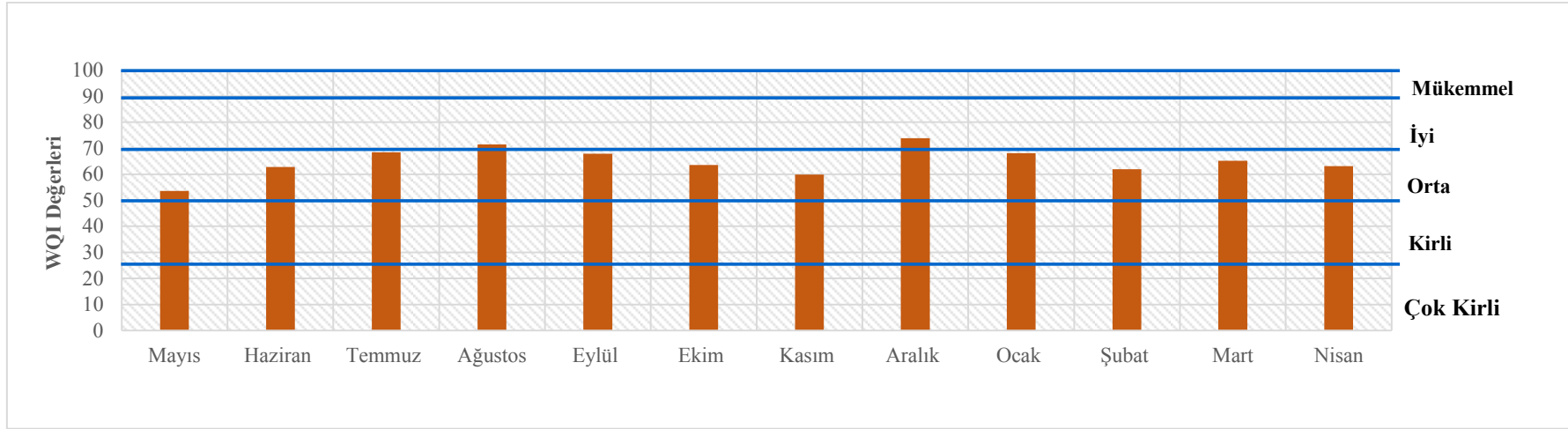
Şekil 4.128. 14. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



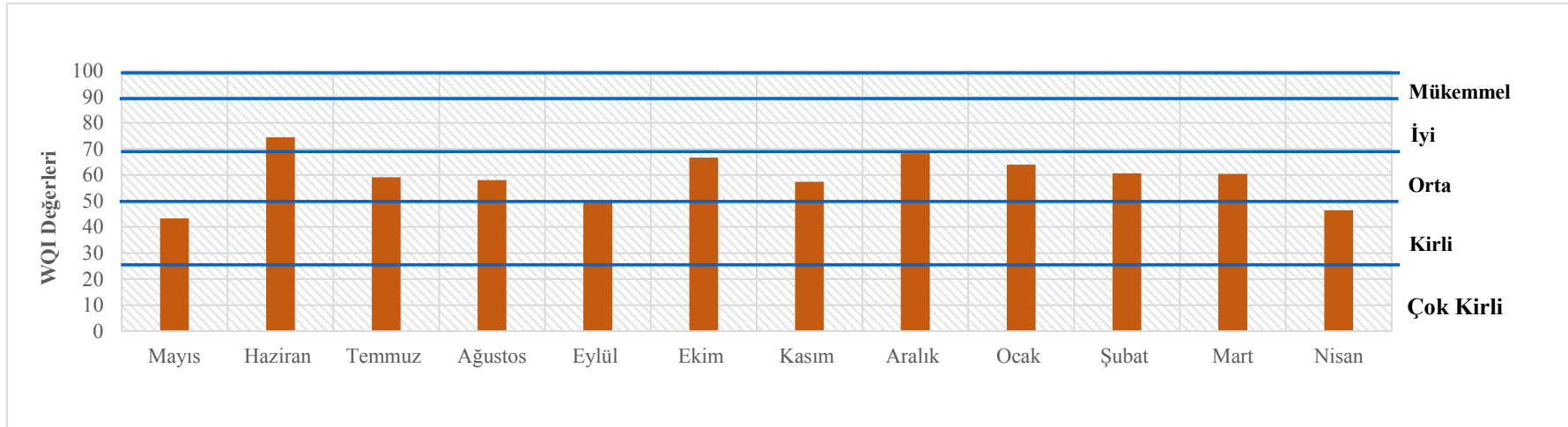
Şekil 4.129. 15. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi



Şekil 4.130. 15a. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi

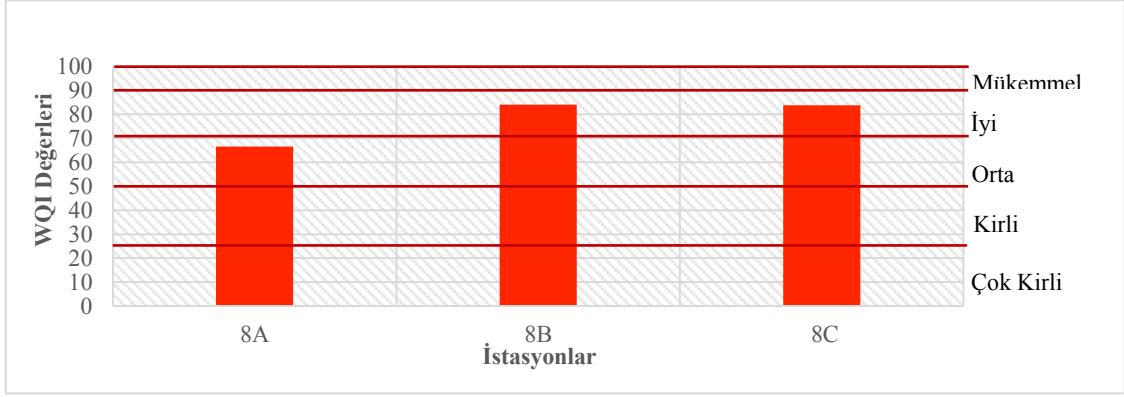


Şekil 4.131. 16. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi

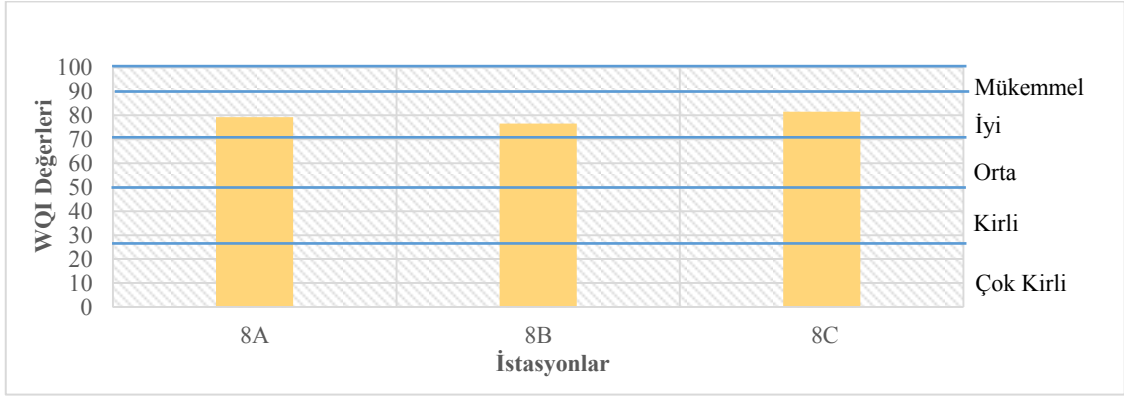


Şekil 4.132. 17. İstasyon WQI değerlerinin aylık değişimi

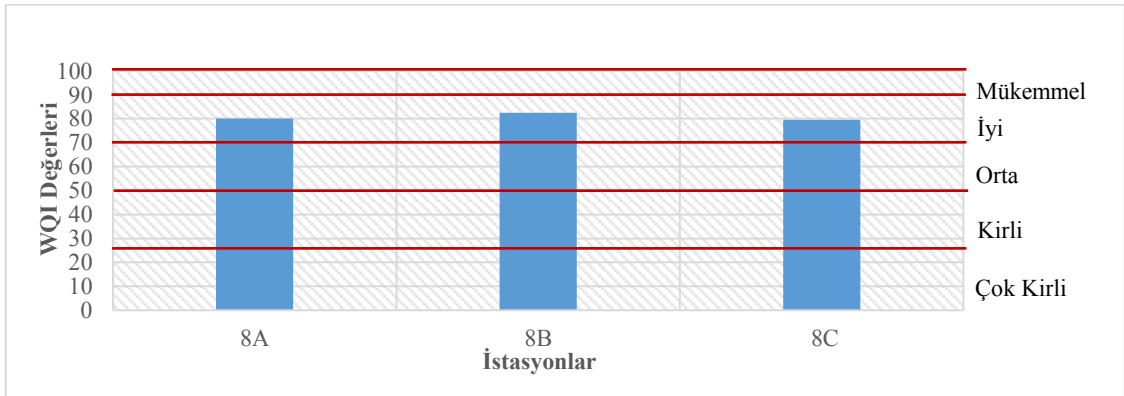
Porsuk Baraj Gölü'nde belirlenen üç istasyondan da mevsimlik olarak su örnekleri alınarak su kalite sınıfları belirlenmiş ve Şekil 4.133- Şekil 4.136'da verilmiştir. Mevsimsel olarak yapılan çalışmada, sadece yaz mevsiminde 8a istasyonunun orta kalite sınıfında olduğu, diğer tüm mevsimlerde tüm istasyonların iyi kalite sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.133. Yaz mevsimi WQI değerleri

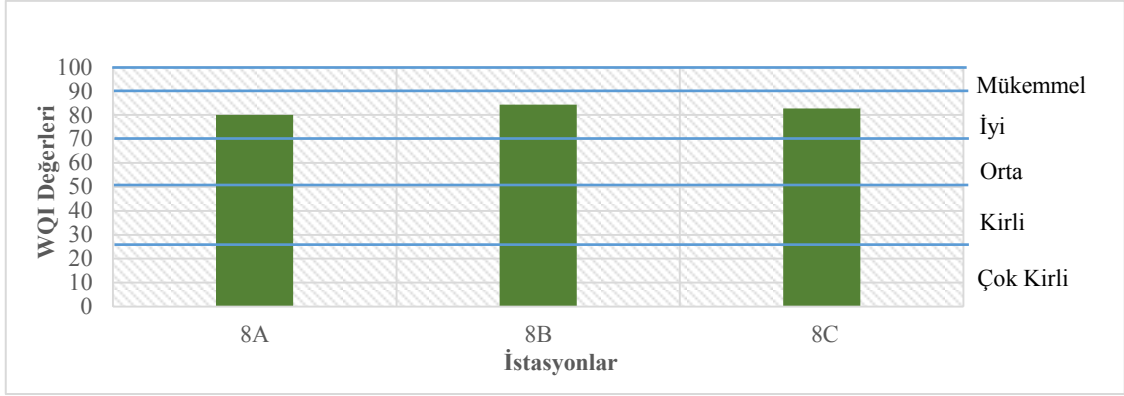


Şekil 4.134. Sonbahar mevsimi WQI değerleri



Şekil 4.135. Kış mevsimi WQI değerleri





Şekil 4.136. İlkbahar mevsimi WQI değerleri

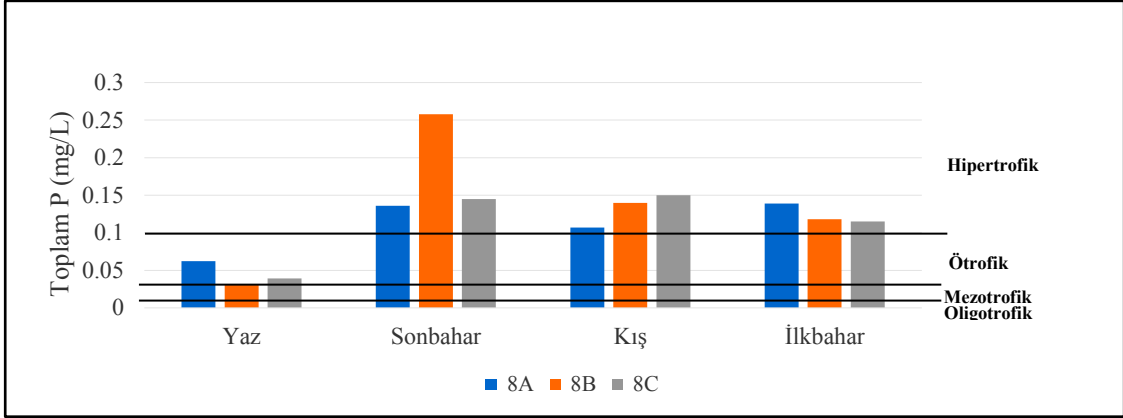
## 4.2. Baraj Gölü Trofik Seviyesi

Porsuk Baraj Gölü'nün trofik seviyesinin belirlenmesi amacı ile mevsimsel olarak üç istasyondan su örnekleri alınmıştır. Alınan su örneklerinde toplam N, toplam P, Klorofil-a, seki diski ve çözülmüş oksijen analizleri yapılmıştır. Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği Tablo 9'da belirtilen Göl, Gölet ve Baraj Göllerinde Trofik Sınıflandırma Sistemi Sınır Değerlerine göre değerlendirilmiştir (Çizelge 4.2).

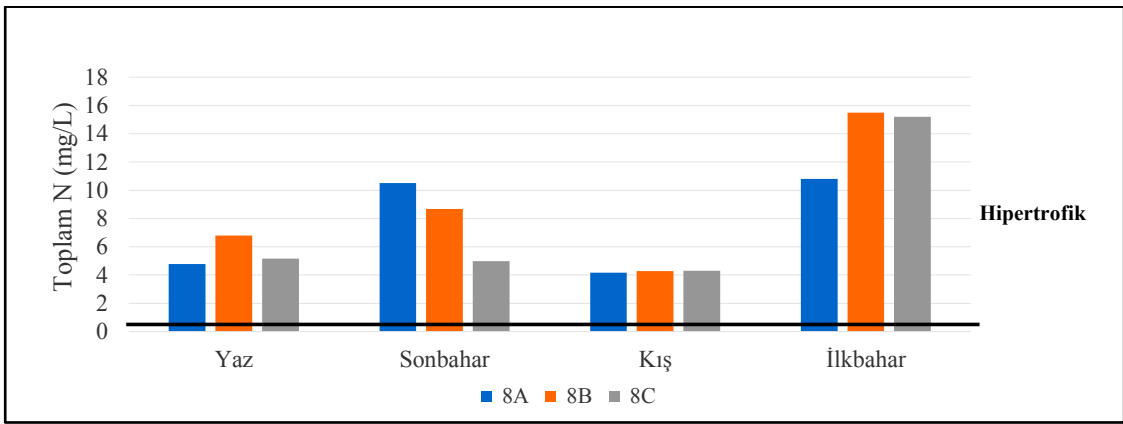
Çizelge 4.1. Göl, gölet ve baraj göllerinde trofik sınıflandırma sistemi sınır değerleri (YSKY, 2016)

Su Kalitesi Sınıfı	TP (µg/L)	TN (µg/L)	Klorofil-a (µg/L)	Secchi Disk Derinliği (m)	Çözülmüş Oksijen (mg/L)
Oligotrofik	< 10	< 350	< 3,5	> 4	> 7
Mezotrofik	30	650	9	2	6
	50*	1000*	15*	1,5*	4*
Ötrofik	100	1500	25	1	3
Hipertrofik	> 100	> 1500	> 25	< 1	< 3

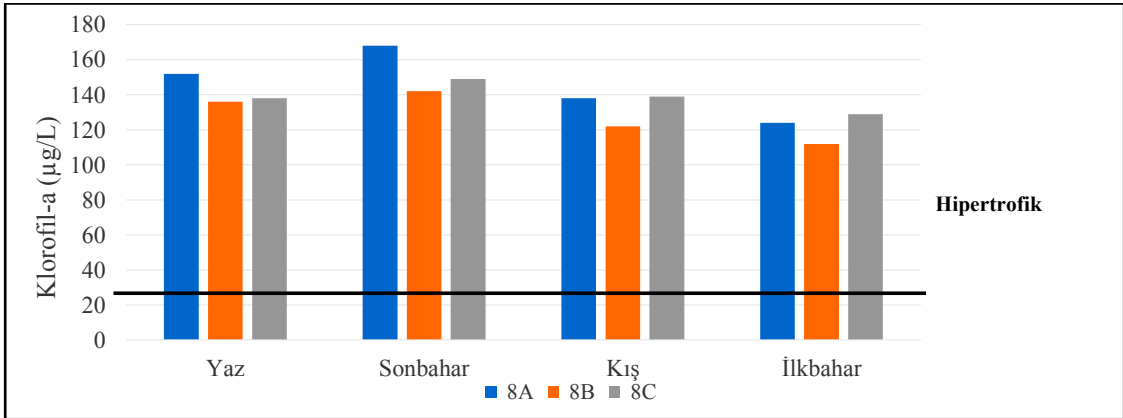
Trofik seviye, oligotrofik seviyeden hipertrofik seviyeye doğru yükselmektedir. Parametrelerin her birinin farklı trofik seviyede çıkması durumunda klorofil-a belirleyici olmaktadır. Trofik seviyelerden en az iki parametrenin aynı çıkması durumunda, bu trofik seviye geçerli olmaktadır. Ancak klorofil-a seviyesinin, neticesi aynı olan parametrelerden daha yüksek çıkması durumunda klorofil-a belirleyici olmaktadır. Dört parametrenin dikkate alınması ve iki farklı trofik seviye çıkması durumunda en yüksek seviye geçerli olmaktadır. Tüm parametrelerin değerlendirmeleri Şekil 4.137 - Şekil 4.141'de verilmiştir.



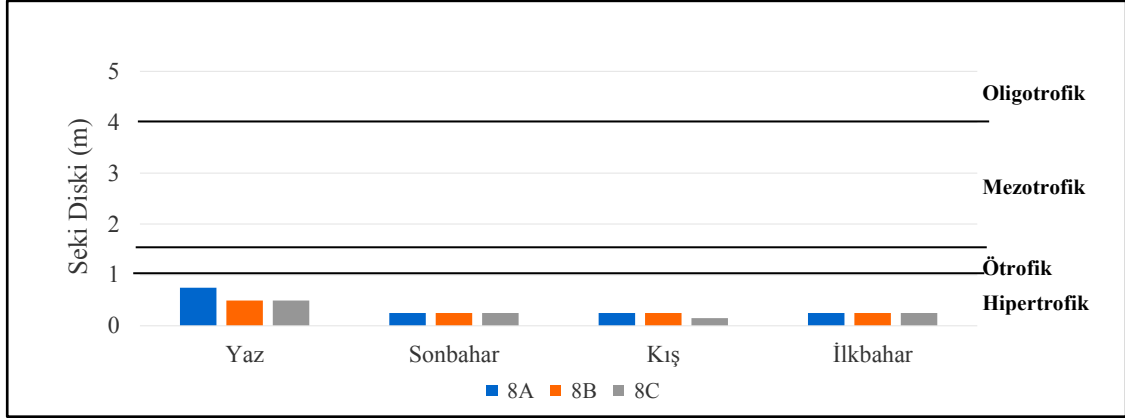
Şekil 4.137. Porsuk Baraj Gölü toplam P seviyeleri



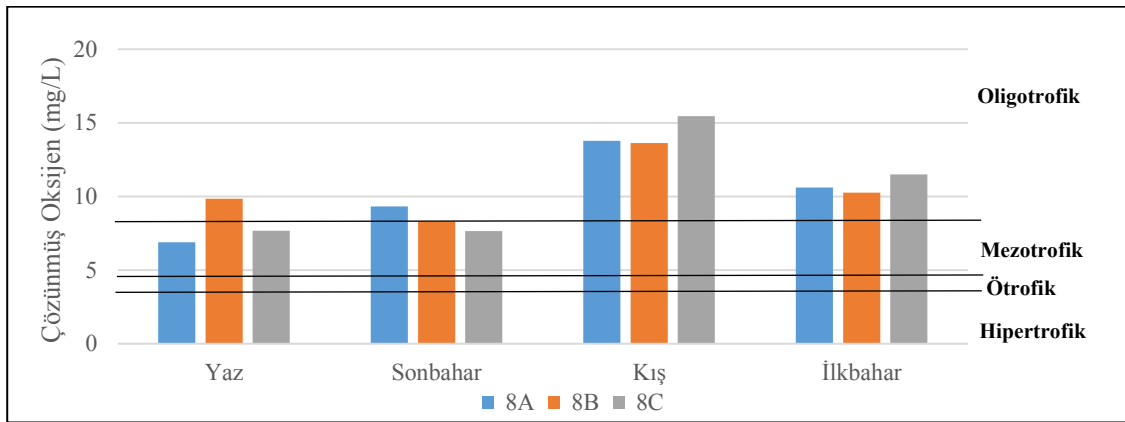
Şekil 4.138. Porsuk Baraj Gölü toplam N seviyeleri



Şekil 4.139. Porsuk Baraj Gölü klorofil-a seviyeleri



Şekil 4.140. Porsuk Baraj Gölü seki diski seviyeleri



Şekil 4.141. Porsuk Baraj Gölü çözünmüş oksijen seviyeleri

Yapılan analizler sonucu, tüm mevsimler çözünmüş oksijen konsantrasyonu hariç tüm parametreler açısından baraj gölünün hipertrofik seviyede olduğu belirlenmiştir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu seviyelerinin yaz ayında 8a istasyonu dışında diğer tüm mevsimlerde oligotrofik seviyede olduğu tespit edilmiştir. Tüm veriler değerlendirildiğinde Porsuk Baraj Gölü'nün hipertrofik olduğu tespit edilmiştir.

### 4.3. İstatistiksel Analizler

#### a) Veri

Su kalite indeksi ve indeksin hesaplanmasında kullanılan değişkenlere ilişkin ortalama, medyan, mod gibi merkezi eğilim ölçülerinin ve standart sapma, basıklık, çarpıklık gibi yayılım ölçülerinin yer aldığı betimsel istatistikler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2. Betimsel istatistikler**

		WQİ	ÇözünmüşOksijen	SıcaklıkFarkı	pH	BOİ	Nitrat	ToplamFosfor	Bulanıklık	Fekalkoliform
N	Valid	213	213	213	213	213	213	213	213	213
	Missing	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ortalama		65,0288	8,1634	-,0539906103	8,0207	3,107605634	2,79885	,684488	16,6741	2450,85
Medyan		65,7400	8,6800	,0000000000	8,0900	2,6200000000	1,82000	,457000	7,6500	240,00
Mod		56,90	9,28	,0000000000	7,89	,0000000000	1,820	,0170	,00	11000
Std. Sapma		10,06897	3,12358	,3180802378	,52271	1,931375840	2,732159	,6947837	25,78889	4262,382
Çarpıklık		-,254	-,579	-1,721	-3,463	,709	2,405	1,738	3,677	1,506
Çarpıklığın Std. Hatası		,167	,167	,167	,167	,167	,167	,167	,167	,167
Basıklık		-,335	-,369	18,103	17,785	,062	7,589	4,043	17,264	,314
Basıklığın Std. Hatası		,332	,332	,332	,332	,332	,332	,332	,332	,332
Minimum		38,89	,53	-2,1000000000	4,71	,0000000000	,301	,0000	,00	0
Maksimum		89,47	13,25	1,7000000000	8,84	9,8800000000	17,100	4,2500	175,40	11000
Kartil	1. Kartil	57,7300	6,0450	,0000000000	7,8900	1,6950000000	1,10000	,181000	2,4600	53,00
	2. Kartil	65,7400	8,6800	,0000000000	8,0900	2,6200000000	1,82000	,457000	7,6500	240,00
	3. Kartil	72,4250	10,3350	,0000000000	8,3000	4,4450000000	3,93500	,974000	19,7200	1100,00

Çizelge 4.4’de yer alan korelasyon değerleri incelendiğinde, su kalite indeksi ile sıcaklık farkı arasında %95 düzeyinde anlamlı bir korelasyonun var olmadığı, buna karşın indeks ile diğer değişkenler arasında %95 düzeyinde anlamlı bir ilişkinin var olduğu görülmektedir. Su kalite indeksi ile diğer değişkenler arasındaki korelasyon katsayıları ayrı ayrı ele alındığında, en güçlü ilişkinin su kalite indeksi ile çözünmüş oksijen arasında olduğu görülmektedir. Çözünmüş oksijen ile su kalite endeksi arasında pozitif yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Bunun yanında pH ile indeks arasında pozitif yönlü orta düzeyde bir korelasyon mevcuttur. Öte yandan BOİ, toplam fosfor, bulanıklık ve fekal koliform ile su kalite indeksi arasında negatif yönlü orta derecede bir ilişkinin var olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Nitrat ile su kalite indeksi arasında ise negatif yönlü düşük düzeyde bir ilişki mevcuttur.

Çizelge 4.3. Korelasyon tablosu

		WQİ	ÇözünmüşOksijen	SıcaklıkFarkı	pH	BOİ	Nitrat	ToplamFosfor	Bulanıklık	Fekalkoliform
WQİ	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	1 213								
ÇözünmüşOksijen	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	,722** ,000 213	1 213							
SıcaklıkFarkı	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	,026 ,710 213	,056 ,412 213	1 213						
pH	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	,432** ,000 213	,485** ,000 213	,051 ,458 213	1 213					
BOİ	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-,403** ,000 213	-,126 ,067 213	-,036 ,597 213	-,123 ,073 213	1 213				
Nitrat	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-,164* ,017 213	,025 ,714 213	-,152* ,026 213	-,016 ,818 213	-,085 ,218 213	1 213			
ToplamFosfor	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-,457** ,000 213	-,301** ,000 213	,071 ,305 213	-,171* ,013 213	,168* ,014 213	-,048 ,483 213	1 213		
Bulanıklık	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-,501** ,000 213	-,296** ,000 213	-,031 ,657 213	-,207** ,002 213	,235** ,001 213	,109 ,113 213	,120 ,080 213	1 213	
Fekalkoliform	Pearson Correlation Sig. (2-tailed) N	-,508** ,000 213	-,337** ,000 213	,060 ,386 213	-,051 ,455 213	,014 ,837 213	,075 ,276 213	,026 ,709 213	,188** ,006 213	1 213

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

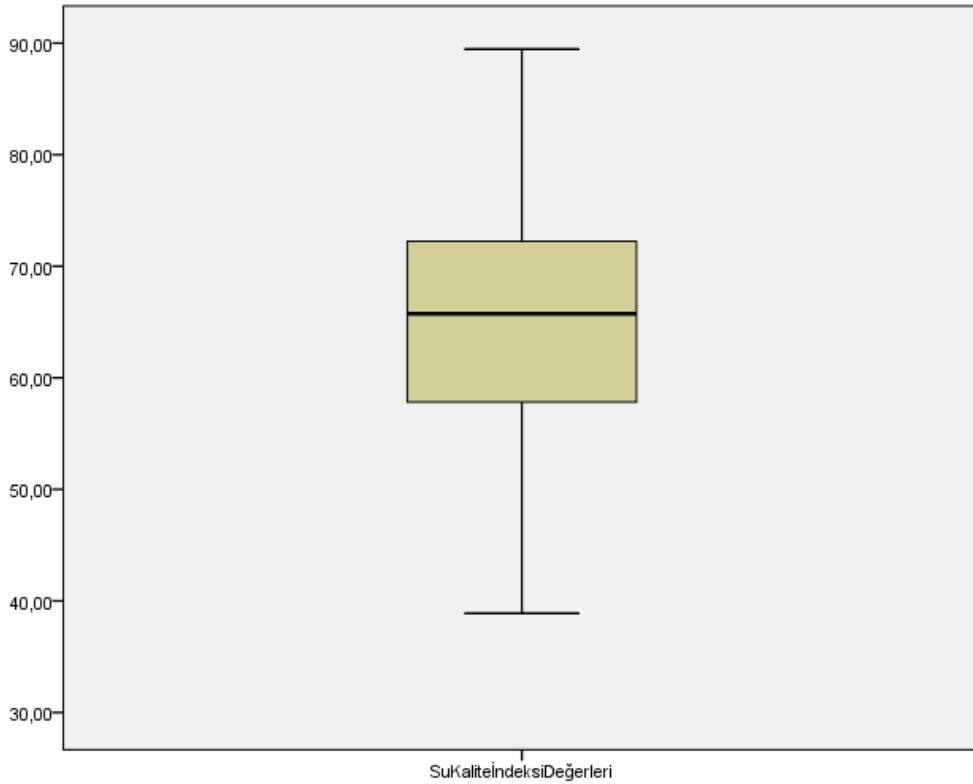
\* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

## b) Regresyon analizi

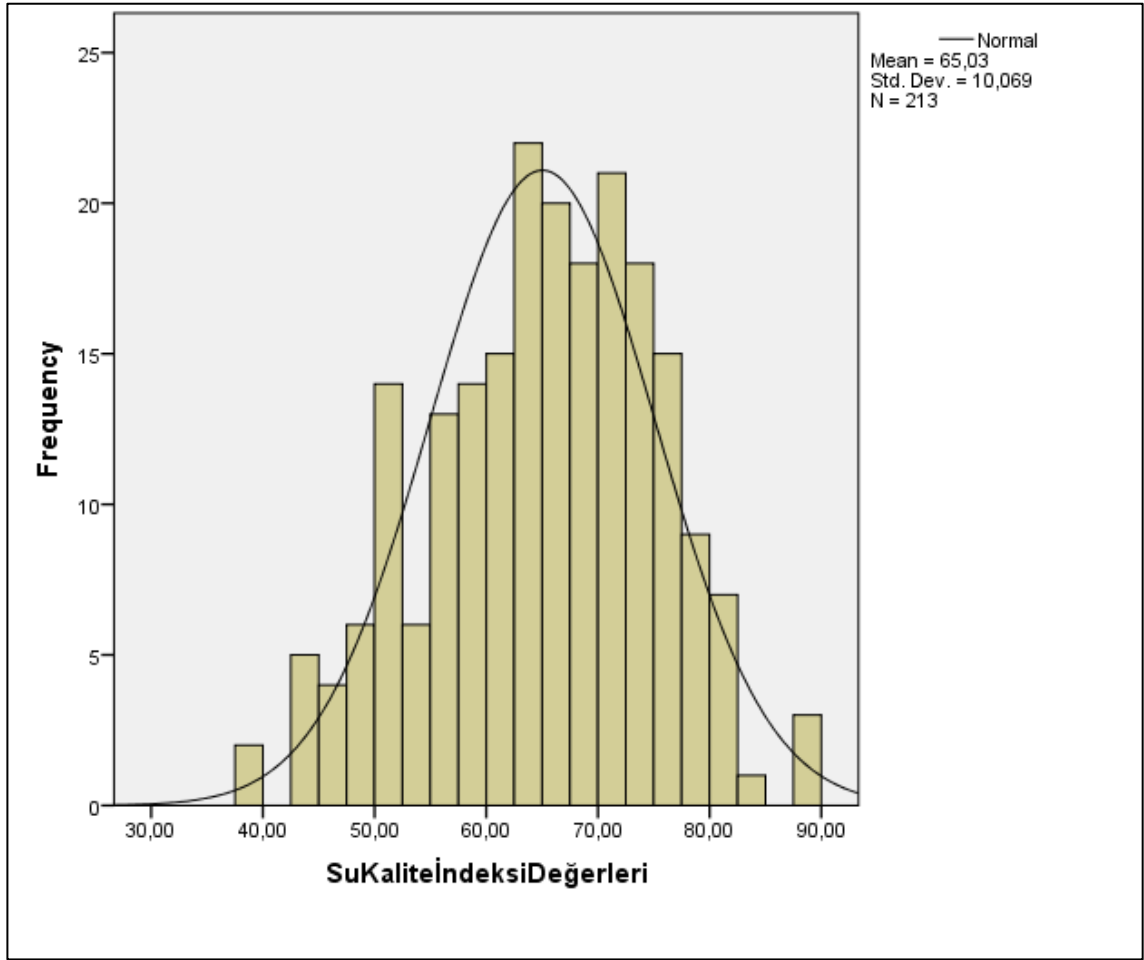
Su kalite indeksi değişkeninin en küçük kareler yöntemi ile modelleneceği bu bölümde öncelikle su kalite indeksine ilişkin betimsel istatistikler incelenecek, normallik testlerine yer verilecek ve daha sonra çoklu bağıntı testleri gerçekleştirilecektir.

Çizelge 4.3'deki su kalite indeksine ilişkin merkezi eğilim ölçüleri incelendiğinde ortalama ile medyan değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Çarpıklık katsayısının -0.254 olması ise su kalite indeksinin normale çok yakın hafif sola çarpık bir dağılıma sahip olduğu, basıklık katsayısının -0.335 olması ise yine normale yakın fakat hafif basık bir dağılıma sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Şekil 4.142'de yer alan kutu-bıyık grafiği incelendiğinde grafikteki bıyıkların simetrik oldukları görülmektedir. Öte yandan Şekil 4.143'deki histogramdan da dağılımın normale oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir. Böylece dağılımın normale yakın olduğu görsel olarak da desteklenmektedir.



Şekil 4.142. Kutu-bıyık grafiği



Şekil 4.143. Su kalite indeksi histogramı

Normal dağılımın incelenmesinde kullanılan hipotez testleri şöyledir:

- $H_0$ : Su kalite indeksi normal dağılıma sahiptir.
- $H_1$ : Su kalite indeksi normal dağılıma sahip değildir.

Çizelge 4.4. Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk testleri

Normallik Testi						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	Ser. Der.	Anlamlılık	İstatistik	Ser. Der.	Anlamlılık
WQİ	,045	213	,200	,990	213	,126

Çizelge 4.5'te verilen Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro Wilk testlerinin sonuçlarına göre  $H_0$  hipotezi kabul edilir. Diğer bir ifade ile su kalite indeksi normal dağılıma sahiptir.

Çizelge 4.4’deki korelasyon değerleri incelendiğinde bağımsız değişkenler olarak kabul edilen çözülmüş oksijen, nitrat, pH, sıcaklık farkı, BOİ, toplam fosfor, bulanıklık ve fekal koliform arasında çoklu bağıntıya sebep verecek kadar yüksek korelasyonların olmadığı görülmektedir. Ancak yine de çoklu bağıntının incelenmesinde başvurulan varyans büyütme çarpanı değerleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Varyans büyütme çarpanı değerleri

Katsayılar <sup>a</sup>			
Model	Çoklu Bağıntı İstatistikleri		
	Tolerans	V.B.Ç.	
1	ÇözülmüşOksijen	,595	1,680
	SıcaklıkFarkı	,952	1,050
	pH	,741	1,349
	BOİ	,908	1,101
	Nitrat	,940	1,064
	ToplamFosfor	,876	1,141
	Bulanıklık	,842	1,188
	Fekalkoliform	,839	1,192

a. Bağımlı Değişken: Su Kalite İndeksi Değerleri

Tablodaki bağımsız değişkenlere karşılık gelen varyans büyütme çarpanları dikkate alındığında tüm değerlerin 3’ten küçük olması herhangi bir çoklu bağıntının var olmadığına işaret etmektedir.

En küçük kareler yöntemi ile gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi sonuçları Tablo Çizelge 4.7’de yer almaktadır. Çizelge 4.8’de ise modelin anlamlılığının sınındığı F-testi sonuçları yer almaktadır.



**Çizelge 4.6. Regresyon analizi**

<b>Katsayılar<sup>a</sup></b>				
Model	Regresyon Katsayıları		t	Anlamlılık
	B	Std. Hata		
(Kesişim)	50,052	4,834	10,354	,000
ÇözünmüşOksijen	1,320	,118	11,175	,000
SıcaklıkFarkı	-,230	,918	-,251	,802
pH	1,947	,633	3,076	,002
1 BOİ	-1,366	,155	-8,828	,000
Nitrat	-,606	,108	-5,632	,000
ToplamFosfor	-3,603	,438	-8,227	,000
Bulanıklık	-,075	,012	-6,227	,000
Fekalkoliform	-,001	,000	-9,908	,000

a. Bağımlı Değişken: Su Kalite İndeksi Değerleri

**Çizelge 4.7. Anova (F-Testi)**

<b>ANOVA<sup>a</sup></b>						
Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1 Regression	17986,099	8	2248,262	130,768	,000 <sup>b</sup>	
Residual	3507,331	204	17,193			
Total	21493,430	212				

a. Bağımlı Değişken: SuKaliteİndeksiDeğerleri

b. Predictors: (Constant), Fekalkoliform, BOİ, Sıcaklık Farkı, pH, Nitrat, Toplam Fosfor, Bulanıklık, Çözünmüş Oksijen

Çizelge 4.8’de incelendiğinde modelin anlamlı olduğu görülmektedir ( $p<0.001$ ). Çizelge 4.7’ye göre sıcaklık farkı hariç tüm değişkenlerin regresyon katsayılarının anlamlı olduğu görülmektedir ( $p<0.005$ ). Çözünmüş oksijen ile pH’ın su kalite indeksi üzerinde pozitif, diğer değişkenlerin ise negatif etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Toplam fosfor -3.603 ile su kalite indeksi üzerinde en büyük negatif etkiye sahip iken pH ise indeks üzerinde en büyük pozitif etkiye sahip değişkendir.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Porsuk Çayı havzası, kuzeybatı Anadolu'da 11188 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Doğu-batı doğrultusunda 202 km, kuzey-güney doğrultusunda 135 km'dir. Porsuk Çayı Kütahya'nın Tokul köyü yakınından doğmakta, doğu yönüne 453.8 km'lik akış uzunluğu ile deniz seviyesinden yaklaşık 600 m yükseklikte Sakarya Nehri ile birleşmektedir (Egemen, 1999). Porsuk Çayı Havzasında iki büyük yerleşim merkezi Eskişehir ve Kütahya illeri ve bu illere bağlı 7 ilçe merkezi bulunmaktadır (İyigün ve Koçbuğ, 2003; Orak, 2006). Nehir su kalitesi oldukça düşük olup hem nehir hem de havza endüstriyel, tarımsal ve kentsel kirletici kaynaklardan dolayı ciddi tehdit altında bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında Porsuk Havzasında belirlenen 18 istasyondan alınan su örneklerinde yapılan analizler ile Porsuk Çayı'nın Ulusal Sanitasyon Vakfı su kalite indeksine (NFS-WQI) göre kalite sınıflarının belirlenmesi ve Porsuk Baraj Gölü'nün trofik seviyesinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Yüzey sularında sıcaklık önemli bir değişken olmakla birlikte, su sıcaklığı birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayı etkilemektedir. Sıcaklık değişimi çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) gibi birçok kalite parametresi için de belirleyici rol oynar. Aynı zamanda sıcaklık, su ortamı için de önemi de taşımaktadır. Bu duruma örnek verecek olursak, suda yaşayan balık türleri, bu sulardan kazanılan içme sularının özellikleri, akarsu çevresinde sislerin oluşumu vb. birçok olay suyun sıcaklığı ile yakından ilişki göstermektedir. Dişli vd. (2003) yaptıkları çalışmada, iki ay aralıkla Balıklıgöl'ün giriş, orta ve çıkış bölümlerinden su örnekleri alarak bazı fizikokimyasal parametreleri incelemişlerdir. Bu parametrelerden biri olan sıcaklığın en düşük değeri Kasım ayında gölün giriş, orta ve çıkış kısmında 18 °C, en yüksek değeri ise Temmuz ve Eylül aylarında 27 °C olarak ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değerleri kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterlerine göre değerlendirildiğinde, göl suyu II. Sınıf su kalitesinde nitelendirilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada ise, en düşük sıcaklık seviyesi 2017 yılı Ocak ayında 0,2 °C olarak 3. istasyonda ölçülürken, en yüksek sıcaklık seviyesi Temmuz ayında 25,8 °C olarak 17. istasyonda ölçülmüştür. Yıl içerisinde yüzey ve yüzeyaltı sıcaklıkları çok farklılık göstermezken, en büyük sıcaklık farkının 1,7 °C ile 2016 yılı Mayıs ayında 12. istasyonda olduğu belirlenmiştir.

Yüzeysel sularda pH'nın artması yada azalması bazı bileşiklerin toksisitesini etkilemektedir, bu yüzden de sularda pH kimyasal ve biyolojik açıdan önem taşımaktadır. Çiçek vd. (2017) yaptıkları çalışmada, Keskin, Çukurhisar ve Borabey göletlerinde belirlenen istasyonlardan aldıkları sularda pH seviyeleri incelemiştir. pH seviyelerinin 8,2 ile 9,79 arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmanın gerçekleştirildiği göletlerin yakın çevresinde açık maden ocakları bulunduğu ve bu göletlerin pH parametresi açısından kalitesinin düşük olmasının çevrede bulunan maden ocakları ve bölgenin doğal formasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Porsuk Havzası'nda gerçekleştirilen bu çalışmada, pH değerlerinin 4,71 ile 8,84 arasında değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre pH değeri tüm kalite sınıfları için 6 - 9 arasında, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2013) ve EU (2014)'de ise 6,5 – 9,5 arasında belirtilmiştir. Tüm aylarda pH seviyesinin mevzuatlarda belirtilen maksimum değerleri aşmadığı görülürken, Temmuz ayında 6. istasyonun, Eylül ayında 17. istasyonun ve Ocak ayında 8. istasyonun ise minimum değerlerin altında kaldığı görülmüştür.

Çözünmüş oksijen seviyesindeki değişim diğer su kalite parametrelerini olumlu ya da olumsuz anlamda etkilemektedir. Sudaki çözünmüş oksijen seviyesi aynı zamanda suyun kirlilik derecesini de ortaya koyar diyebiliriz. Sudaki yaşamın sürdürülebilirliği, alg aktivitesi ve organik madde miktarı çözünmüş oksijen seviyesine bağlıdır. Sulardaki çözünmüş oksijen yüzdesi, sıcaklıkla ters orantılı atmosfer basıncı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Sudaki oksijen miktarının yüksek olması tercih edilmektedir (Yılmaz, 2015). Öz ve Ertaş (2016) Rize'de bulunan Arılı Deresi'nde yaptıkları çalışmada yıllık ortalama çözünmüş oksijen miktarı  $9.36 \pm 0.13$  mg/L olarak bulunmuş ve yıllık ortalama çözünmüş oksijen değeri bakımından Arılı Deresi'nin yüksek kaliteli su sınıfı içerisinde yer aldığı saptanmıştır. Yapılan bu çalışmada en düşük çözünmüş oksijen seviyesinin 2016 yılı Haziran ayında 0,53 mg/L olarak 8. istasyonda, en yüksek çözünmüş oksijen seviyesinin 2017 yılı Ocak ayında 13,25 mg/L olarak 5. istasyonda olduğu saptanmıştır. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde ise yıl boyu ayların çoğunda olduğu gibi 1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15a ve 17. istasyonların 1. Sınıf olduğu görülmektedir (Şekil 4.13).

BOİ, organik maddenin parçalanması sırasında ihtiyaç duyulan oksijenin ifadesidir. Sularda kirliliğin artmasıyla suda parçalanacak organik maddenin de oksijene

olan ihtiyacı artmaktadır ve bu da BOİ değerinin yükselmesi anlamına gelmektedir (Gökdemir, 2006). BOİ seviyesinin belirlenmesi, suyun kirlilik yükünün belirlenmesi, arıtma tesislerinden çıkan suyun temizlenme derecesini ve arıtılmış suların çevresel kaynaklara deşarj edilebilmesi için yönetmeliklerde verilen sınır değerlere uygun olup olmadığının bilinmesi için gereklidir. Gürel (2011)'in yaptığı çalışmada Ocak 2009 – Ekim 2009 tarihleri arasında mevsimsel olarak Porsuk Çayı su kalitesini belirlemeye çalışmıştır. Yapılan analizler sonucunda biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) açısından Porsuk Çayı'nın IV. Sınıf su kalitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada ise 2016 yılı Mayıs ayında 13. istasyonda ve Eylül ayında 7. istasyonda BOİ ölçülmezken, en yüksek BOİ seviyesi Temmuz ayında 17. İstasyonda (9,88 mg/L) ölçülmüştür. Mayıs ve Temmuz aylarında 17. istasyonun Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre III. Sınıf kalitede olduğu gözlenirken, 15, 16 ve 17. istasyonların yıl boyu ayların çoğunda olduğu gibi II. Sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir. Diğer tüm istasyonların ise I. Sınıf su kalitesinde tespit edilmiştir.

Nitratlar, sularda yüksek çözünme özelliğine sahip inorganik kimyasallardır. Esas kaynakları gübre ve kanalizasyon atıkları olarak görülmekle birlikte doğal sulardaki nitrojen içeren maddelerin çoğu nitrata dönüşüm göstermektedir. Çoğu ülkede yüzeysel kaynaklardan elde edilen içme sularında nitrat seviyesinin 10 mg/L'nin altında ve kuyulardan elde edilen içme sularında 50 mg/L'nin üzerinde olduğu izlenmektedir. Ağaoğlu vd. (2007) yaptıkları çalışmada Van bölgesi içme ve kullanma sularında nitrit ve nitrat seviyelerini araştırmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre; Van merkez ve ilçelerinde bulunan su kaynaklarında ortalama nitrat düzeyleri sırasıyla 35.927±5.706 ppm ve 24.752±9.262 ppm (kuyu), 5.158± 0.931 ppm ve 4.990±0.665 ppm (dere), 19.065±3.770 p pm ve 14.610±2.523 ppm (kaynak/çe şme), 9.609±3.021 ppm ve 14.114±2.503 ppm (musluk), 6.325±2.850 ppm ve 7.390±1.582 ppm (depo) olarak belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, Van merkez ve ilçelerindeki su kaynaklarında belirlenen ortalama nitrat seviyelerinin birçok araştırmacının bildirdiği değerlerden daha düşük olduğu saptanmıştır. Yapılan bu çalışmada en yüksek nitrat seviyesinin 2016 yılı Haziran ayında 7,1 mg/L olarak 7. istasyonda olduğu belirlenirken, en düşük nitrat seviyesinin Aralık ayında 0,301 mg/L olarak 8. istasyonda olduğu saptanmıştır. Yıllık ortalama değerlere bakıldığında ise 1, 5, 7, 12, 15, 16 ve 17. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 2. Sınıf kalitede olduğu, diğer istasyonların 1. Sınıf

kalitede olduğu görülmektedir (Şekil 4.64). EU (2014) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2013)'de sınır değeri 50 mg/L olarak verilmiştir ve tüm aylarda ve tüm istasyonlarda bu değerin aşılmadığı tespit edilmiştir.

Sularda fosforun başlıca kaynakları, insan atıkları, evsel ve endüstriyel atıksular ve tarımsal alan deşarjları olarak belirtilmektedir. Atıksularda ortalama toplam fosfor seviyesinin 5-20 mg/l aralığında olmaktadır. Fosfor bütün canlı hücreler için gerekli olan bir makronutrienttir. Göllerde alg ve bitkilerin büyümesinde sınırlayıcı besin maddesidir. Yüzeysel sularda önemli bir kirlilik göstergesi olan fosfor, doğal suların verimliliğini etkileyen en önemli mineral olmakla birlikte ötrofikasyon oluşumundaki en temel elementtir. Fosfor ve fosfatlar suyun oksijen bakımından zengin üst kısmında bulunan alg ve fotosentez yapan diğer bitkilerin aşırı miktarda çoğalmasına neden olmaktadır (Serdar, 2015). Pulatsü ve Gökkaya (2001) Mogan Gölü'nde yaptıkları çalışmada toplam fosfor seviyelerinin sonbahar aylarında en yüksek, ilkbahar aylarında ise en düşük seviyelerde olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan bu çalışmada, 2016 yılı Ekim ayında 2. istasyonda toplam fosfat seviyesi belirlenemezken, en yüksek seviye 2017 yılı Ocak ayında 4, 25 mg/L olarak 4. istasyonda belirlenmiştir. Yıllık ortalama değerler incelendiğinde 3, 4, 7, 8, 14, 15 ve 16. istasyonların Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ne göre 4. Sınıf su kalitesinde olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.77).

Sularda nitrat ve toplam fosfat seviyesindeki artışın su örneklerinin alındığı istasyonların çevresinde tarım arazilerinin bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kütahya İl Çevre Durum Raporu (2017)'nda, Kütahya İlinde en fazla tüketilen gübrelerin % 21 Amonyum Sülfat, % 26 Amonyum Nitrat, % 33 Nitrat, Üre, Dap, Kompoze 20.20.0 ve Kompoze 20.20.0 + Zn gübreleri olduğu ve toplam gübre tüketimin yaklaşık % 90'ı olan bu gübrelerin çiftçiler tarafından kullanıldığı belirtilmektedir. Aynı şekilde Eskişehir İl Çevre Durum Raporu (2017)'unda Eskişehir İlinde ticari gübre tüketiminin bitki besin maddesi bazında kullanılan miktarları 26626 ton azot, 18051 ton fosfor, 1711 ton potasyum olarak verilmiştir.

Bulanıklık, su içerisinde bulunan askıda maddeler nedeni ile oluşan opaklık derecesi olarak tanımlanabilmektedir. Doğal sularda değişik oranlarda askıda madde bulunmakla birlikte, bu maddelerin miktarları farklı sebeplere bağlı olarak değişim göstermektedir. Sularda bulanıklık arttıkça fotosentez azalmakta böylece sudaki oksijen

ve plankton üretimi düşerek sucul yaşamdaki besin dengesi bozulmaktadır (Uysal, 2015). Dönderici vd. (2010) yaptıkları çalışmada Adana Hıfzıssıhha Enstitüsü Müdürlüğü Su Kimyası Laboratuvarına 2009 yılı içerisinde analiz amacıyla gelen kaynak sularının fiziksel ve kimyasal kalitesini değerlendirmişlerdir. Fiziksel analizler sonucunda kaynak sularının 61'inde bulanıklık analizi yapılarak suların tamamının renksiz, kokusuz, normal tatta olduğu sadece iki örnekte (% 3,2) bulanıklık olduğu gözlenmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada yapılan analizler sonucunda hem aylık hem de yıllık ortalama bulanıklık seviyeleri incelendiğinde 1, 7, 8 ve 17. istasyonların yüksek bulanıklık seviyelerine sahip olduğu gözlenmiştir. En yüksek bulanık seviyesi 175,4 NTU olarak 2016 yılı Haziran ayında 16. istasyonda ölçülürken, 2016 yılı Eylül, Ekim ve 2017 yılı Ocak, Mart, Nisan aylarında 2. istasyonda bulanıklık tespit edilememiştir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde bulanıklık için herhangi bir limit değeri belirtilmezken, EU (2014) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2013)'de "Yüzeysel suyun arıtılması durumunda, arıtılmış sudaki bulanıklığın 1 NTU değerini aşmamasına dikkat edilmeli" ibaresine yer verilmiştir.

Sularda fekal koliform varlığı, suyun dışkı ile kontaminasyonunu işaret etmektedir. Bu da, suyun başta hastalık oluşturan bakteriler olmak üzere, pek çok zararlı ve tehlikeli bakteri, virüs protozoa ve Giardia gibi parazitler ile kontamine olması anlamına gelmektedir. Bu mikroorganizmalar ile kontamine olan içme suları ishal ve mide bulantısı ile seyreden mide-bağırsak hastalıklarına sebep olabilmektedir. Avcı vd. (2006) yaptıkları çalışmada, 2005 yılında Tokat İli Halk Sağlığı Laboratuvarına gelen içme suyu örneklerini incelemiştir. Yapılan analizler sonucu örneklerin % 34,7'sinde fekal koliform, % 65,3'ünde toplam koliform tespit etmişlerdir. Bu inceleme sırasında koliform seviyelerinin yıl içerisinde belirli aylara göre değişim ve artış gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada her ay fekal koliform seviyelerinin değişik seviyelerde artış veya azalış gösterdiği saptanmıştır. Porsuk Nehri'nin kaynağı olan 2. istasyonun diğer istasyonlara göre daha düşük seviyelerde fekal koliforma sahip olduğu gözlenirken, 7. istasyonun yılın çoğu ayında fekal koliform seviyesinin 1100/100 ml'den fazla olduğu saptanmıştır.

Su kalite indeksleri, su kalite verilerini kullanarak ve çeşitli çevresel izleme kuruluşları tarafından formüle edilen politikaların modifikasyonlarına yardım etmektedir (Tyagi ve ark., 2013). Behmanesh ve Feizabadi (2013) yaptıkları çalışmada

Babolrood Gölü'nde belirlenen 7 istasyondan alınan su örneklerinde NSFQI ile su kalite indeksini belirlemişlerdir. İstasyonlarda su kalite indeks değerlerinin 48 ile 80 arasında değiştiği ve istasyonların iyi ve kirli olarak değişen sınıflarda yer aldığı belirlenmiştir. Samantray ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Mahanadi ve Atharabanki Gölleri ile Taladanda Kanalı'nda su kalite indeksini belirlemeye çalışmışlardır. Mahanadi Gölünde belirlenen istasyonlardan alınan su örneklerinde bir istasyon dışındaki istasyonların tümünün iyi kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. Atharabanki Gölünde örnekleme yapılan dört istasyonun üçünün orta su kalite sınıfında birinin de kirli kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. Taladanda Kanalı'nda ise örnekleme yapılan tüm istasyonların iyi kalite sınıfında olduğu belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada Porsuk Havzasında alınan su örneklerinde elde edilen su kalite indeksi değerleri incelendiğinde su kalitesinin iyi ve orta kalite sınıfında değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Sadece Kütahya çıkışında bulunan 7. istasyonun hem yıl içinde alınan aylık su örneklerinin çoğunluğunda hem de ortalama değerlere bakıldığında kirli kalite sınıfında yer aldığı saptanmıştır.

Porsuk Baraj Gölü'nde trofik seviyenin belirlenmesi amacı ile yapılan analizler sonucu tüm mevsimlerde çözülmüş oksijen konsantrasyonu hariç tüm parametreler açısından baraj gölünün hipertrofik seviyede olduğu belirlenmiştir. Çözülmüş oksijen konsantrasyonu seviyelerinin yaz ayında 8a istasyonu dışında diğer tüm mevsimlerde oligotrofik seviyede olduğu tespit edilmiştir. Tüm veriler değerlendirildiğinde Porsuk Baraj Gölü'nün hipertrofik olduğu tespit edilmiştir. Kutlu vd. (2017) Uzunçayır Baraj Gölü'nde yaptıkları çalışmada; seki diski derinliğinin 1,48-11,04 m, klorofil-a'nın 0-34,3 µg/L, fosfat seviyesinin 0,06-1,12 µg/L ve toplam azot seviyesinin 0-3,82 µg/L arasında değişim gösterdiği tespit etmişlerdir. Trofik durumu belirlemek için Carlson Sınıflandırma İndeksini kullanarak, ortalama trofik seviye indeksi değerlerinde göre Uzunçayır Baraj Gölü'nün oligotrofik seviyede olduğunu tespit etmişlerdir. Cüce ve Bakan (2017) Cernek Gölü'nde yaptığı çalışmada, 3 sezon (Nisan/Mayıs 2010, Ekim/Kasım 2010 ve Temmuz/Ağustos 2011) süren çalışmada trofik seviye belirleme çalışması yapmışlardır. Gölün trofik yapısının ilkbaharda sergilediği mezotrofik durumdan güneydoğu kıyılarına doğru hipertrofik düzeyde yükselme eğilimi gösterdiğini ve bu durumun büyüme sezonunda ve sonrası dönemde oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Bu çalışma sonucunda elde edilen veriler incelendiği Porsuk Nehri'nin Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde verilen "Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablosunda belirtilen parametrelerden toplam fosfor limit değerlerine göre 4. Sınıf (zayıf) su kalitesinde olduğu saptanmıştır. Ulusal Sanitasyon Vakfı Su Kalite İndeksi verilene göre ise su kalitesinin iyi-kirli su sınıflarında istasyonlara göre değişim gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle Kütahya çıkışında bulunan 7. istasyonun kirli su sınıfında yer alması önem taşımaktadır. Bu bölgede gerçekleştirilen endüstriyel ve tarımsal faaliyetler Porsuk Nehri'nin kirlenmesine önemli ölçüde neden olmaktadır. Eskişehir İli'nin içme ve kullanma suyu için gerekli ham su ihtiyacı, Porsuk Çayı'nın Eskişehir İl merkezine girişinde yer alan Karacaşehir Regülatörü öncesinden karşılanmaktadır. Kütahya bölümünden kaynaklanan kirlilik için kalıcı ve daha ciddi tedbirlerin alınması ile Eskişehir için olumsuz durumların ortadan kalkacağı, Porsuk Baraj Gölünün ömrünün uzayacağı ve Eskişehir arıtma tesislerine daha kaliteli bir ham su girişine sebep olacağı öngörülmektedir.



## KAYNAKÇA

- Ağaoğlu, S., Alisharlı, M., Alemdar, S. ve Dede, S. (2007) *Van bölgesi içme ve kullanma sularından nitrat ve nitrit düzeylerinin araştırılması*. YYÜ Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 18 (2), 17-24.
- Akar, S. (2009). *İzmir iç Körfezi'nde, Kıyı Sularında ve Kara Midyelerde (Mytilus galloprovincialis Lamarck, 1819) Fekal Koliform Bakterilerin İzlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akyüz, H. (2016). *İşletmede olan bir hidro elektrik santralin nehir suyu kalitesine etkisi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alpaslan, K. (1995). *Türkiye'de Göl Kirliliği ve Göllerin Trofik Seviyelerinin Belirlenmesinde Uygun bir Matematiksel Modelin Seçimi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Avcı, S., Bakıcı, M. Z. Ve Erandaç, M. (2006). *Tokat ilindeki içme sularının koliform bakteriler yönünden araştırılması*. Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 28 (4), 07-112.
- Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininge, R.A., Tozer, R.G. (1970). *A water quality index e do we dare?*. Water Sewage Works, 117, 339-343.
- Carlson, R.E. ve Simpson, J. (1996). *A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods*. North American Lake Management Society, 96.
- Chapman, D. (1992). *Water quality assessment*. London: Chapman & Hall.
- Coşkun, M. A. (2012). *Atıksularda su kalitesi belirleme ve modelleme*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Malatya: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Cüce, H. (2012). *Göllerin trofik seviyelerinin değişiminde sediman tabakasının rolü ve su kalitesinin izlenmesi ve değerlendirilmesinde coğrafi bilgi sistemlerinin*

- uygulanması*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çiçek, A., Uysal, E., Köse, E. ve Tokatlı, C. (2017). *Eskişehir’de yer alan bazı sulama göletlerinin su kalitesinin değerlendirilmesi*. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6 (ICOCEE 2017 Özel Sayısı), 440-446.
- Çoban, F. (2007). *Hazar gölü su kalitesinin araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dak Özecik, F. (2006). *Sapanca gölünde ötrofikasyonun araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dede, Ö. T. ve Sezer, M. (2017). *Aksu çayı su kalitesinin belirlenmesinde Kanada su kalitesi indeksi (CWQI) modelinin uygulanması*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 32 (3), 909-917.
- Devlet Su İşleri Müdürlüğü (DSİ). (2001). *Eğrekkaya Baraj Gölü ve Havzasında Kirlilik Araştırması Raporu*. Enerji ve Tabii Kaynakları Bakanlığı.
- Dişli, M. (2002). *Şanlıurfa Balıklıgölü’nün su kalitesiyönüyle değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dişli, M., Akkurt, F. ve Alıcılar, A. (2003). *Şanlıurfa Balıklıgöl suyunun fiziksel parametreler yönüyle değerlendirilmesi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18 (4), 81-88.
- Dönderici, Z. S., Dönderici, A. ve Başarı, F. (2010). *Kaynak sularının fiziksel ve kimyasal kaliteleri üzerine bir araştırma*. Adana Hıfzısıha Enstitüsü.
- Duan, H., Zhang, B. Song, K. ve Wang, Z. (2007). *Assessment of chlorophyll-a concentration and trophic state for lake chagan using landsat TM and field spectral data*. Environmental Monitoring and Assessment, 129, 295–308.

- Egemen, M.N. (1999). *Porsuk Çayı su kalitesindeki değişimin incelenmesi*. Devlet İstatistik Enstitüsü uzmanlık tezi.
- EN ISO 10304-1. (2007-2008). *Water quality - Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions -- Part 1: Determination of bromide, chloride, fluoride, nitrate, nitrite, phosphate and sulfate*.
- EN ISO 10304-2. (2007). *Water Quality 'Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions.'* Determination of sulfate.
- EN ISO 26777. (1996). *Water Quality 'Determination of Dissolved anions by liquid chromatography of ions'.* Determination of nitrite.
- EPA (Environmental Protection Agency). (2000). *Nutrient criteria technical guidance manual. Lakes and reservoirs*. EPA-822-B00-001, 232p.
- Eren, H. (2006). *Bütünüyle katı-hal pvc membran ve kompozit NO<sub>3</sub><sup>-</sup> seçici potansiyometrik sensörler ve uygulamaları*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Eskişehir İl Çevre Durum Raporu. (2017). Eskişehir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- European Union (EU). (2014). *Drinking water regulations*. S.I. No: 122.
- Gedik, K., Verep, B., Terzi, E. ve Fevzioglu, S. (2010). *Fırtına deresi (Rize)'nin fiziko-kimyasal açıdan su kalitesinin belirlenmesi*. Ekoloji, 19 (79), 25-35.
- Genç, S. (2006). *Taze Tüketime Sunulan Bazı Balık Türlerinde Listeria monocytogenes, Vibrio parahaemolyticus, Toplam Mezofil Bakteri ve Fekal Koliform Bakteri Sayılarının Belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güler, Ç. ve Çobanoğlu, Z. (1997). *Kimyasallar ve çevre*. Sağlık Bakanlığı Temel Kaynak Dizisi, 50.
- Gülle, İ., Turna, İ. İ., Güçlü, S. S., Küçük, F., Gülle, P. ve Güçlü, Z. (2008). *Burdur gölü'ndeki Sıcaklık, çözünmüş oksijen, pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin dikey yönde değişimi*. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 25 (4), 283-287.

Gürel, E. (2011). *Porsuk çayı su kalitesinin belirlenmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Hepsağ, E. (2003). *Köyceğiz-Dalyan lagün havzası su kaynaklarının su kalitesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Horton, R.K. (1965). *An index number system for rating water quality*. Journal of Water Pollution Control Federation, 37 (3), 300-306.

http-1: [https://rp5.ru/Eski%C5%9Fehir\\_kentine\\_ait\\_hava\\_durumu\\_ar%C5%9Fivi](https://rp5.ru/Eski%C5%9Fehir_kentine_ait_hava_durumu_ar%C5%9Fivi)

İkinci, M. (2016), *Sapanca gölü ve gölü besleyen derelerde su kalitesinin değerlendirilmesi*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

İnandık, H. (1965). Türkiye gölleri. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları, 44, 214.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. (2013). Sağlık Bakanlığı, Türkiye Halk Sağlığı Kurumu. Ankara.

İşgören, G. (2009). *Sapanca Gölünde Sınırlayıcı Besin Tuzlarının Fitoplankton Gelişimi Üzerine Etkisi*, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kasaka, E. (2014). *Hafik gölü (Hafik/Sivas) fitoplankton toplulukları ve bazı su kalite parametrelerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Sivas: Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kurt, N. (2009). *İznik gölü'nde besin maddesi kirlenmesinin incelenmesi ve uygun bir modelin araştırılması*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli: Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kutlu, B., Serdar, O., Aydın, R. ve Danabaş, D. (2017). *Uzunçayır baraj gölü'nün (Tunceli) Carlson indeksine göre trofik durumunun belirlenmesi*. Yunus Araştırma Bülteni, 1, 83-92.

- Küçük, S. (2007). *Büyük menderes nehri su kalite ölçümlerinin su ürünleri açısından incelenmesi*. Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 4 (1-2), 7-13.
- Kütahya İl Çevre Durum Raporu. (2017). Kütahya Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- Mutlu, E. ve Tepe, A. Y. (2014). *Yayladağı sulama göleti (Hatay) suyunun bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi*. Alinteri, 27 (B), 18-23.
- Orak, E. (2006). *Porsuk çayı'nın su kalitesinin bulanık metod ile değerlendirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Öz, Ü. Ve Ertaş, E. (2016) *Arılı deresi (Rize)'nin fiziko-kimyasal açıdan su kalitesinin tespit edilmesi*. Turkish Journal of Aquatic Sciences, 31 (1), 30-39.
- Özhan, D. (2007). *Karakaya baraj gölü su kalitesinin zooplankton kompozisyonu ile değerlendirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Malatya: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Porcella, B., Peterson, S. ve Larsen, D. (1980). *Index to Evaluate Lake Restoration*. USEPA, 265-310.
- Serdar, S. (2015). *Doğu karadeniz havzası akarsularının fizikokimyasal su kalitesi mevsimsel değişimlerinin belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sümer, B., İleri, R., Şamandar, A., Şengörür, B. (2001). *Büyük Melen ve kollarındaki su kalitesi*. Ekoloji Çevre Dergisi, 10(39), 13-18.
- Şimşek, H. (2011). *Saazlıdere baraj gölü'nün mikrobiyolojik ve kimyasal kirlilik düzeyinin belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taner, M. Ü. (2007). *Development of water quality index as a sustainability indicator in Küçükçekmece watershed, İstanbul*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Tanyolaç, J. (1993). *Limnoloji (Tatlı Su Bilimi)*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara.
- Taş, B. (2006). *Derbent baraj gölü (Samsun) su kalitesinin incelenmesi*. Ekoloji, 15 (60), 1-6.
- Taşdemir, M. ve Göksu, Z. L. (2001). *Asi nehri'nin (Hatay, Türkiye) bazı su kalite özellikleri*. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 18 (1-2), 55-64.
- Tülek, S. (2006). *Kızılırmak nehri su kalitesi belirlenmesi ve ötrofikasyona bağlı risk değerlendirmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tyagi, S., Sharma, B., Singh, P. Ve dohal, R. (2013). *Water quality assessment in terms of water quality index*. American Journal of Water Resources, 1 (3), 34-38.
- Uysal, E. (2015). *Eskişehir'deki sulama göletlerinin su kalite indekslerinin belirlenmesi ve ekolojik açıdan değerlendirilmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Üstüner, H. (2012). *Gediz nehri bazı parametrelerinin zamansal ve mekânsal değişimi*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. İzmir: Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Wetzel, R.G. (1975). *Limnology*. W.B. Saunders Company, 1-743.
- Yağcı, M. (2010). *Göllerde ötrofikasyon kontrolü ve planktonik gösterge türleri*. Yunus Araştırma Bülteni. 10 (1).
- Yetgin, K, P. (2009). *Ömerli baraj gölünde trofik seviyenin belirlenmesi*. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, B. (2015). *Akarçay havzasında çözünmüş oksijen değerlerinin yapay sinir ağları ile belirlenmesi*. Yayımlanmamış uzmanlık tezi, Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- YSKY (2016). Yerüstü su kalitesi yönetmeliği. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. Ankara

Zhou, A., Tang, H. ve Wang, D. (2005). *Phosphorus adsorption on natural sediments: Modeling and effects of pH and sediment composition*. Water Research, 39, 1245–1254.