

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Prof. Dr. Necdet ARAL

08.07.1998

Prof. Dr. Ferihs ERTÜRK

Prof. Dr. İzzet ÖZCİMEN

**İSTANBUL BOĞAZI'NIN KİRLİLİK ÖZÜMLEME  
KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

79749

**Çevre Müh. Orhan SEVİMOĞLU**

**F.B.E. Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Necdet ARAL**

**İSTANBUL, 1998**

## TEŞEKKÜR

Bu tezimin hazırlanması sırasından engin bilgilerinden yararlandığım ve ilgisini gördüğüm saygıdeğer hocam **Prof. Dr. Necdet ARAL**'a teşekkür ederim. Bu çalışmada matematik denklemlerin çözümüne emeği geçen Dr. İlyas Akhisar'a ve diğer hocalarıma ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Orhan SEVİMOĞLU



## İÇİNDEKİLER

Sayfa

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR.....                                                 | ii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                              | iii |
| KISALTMA LİSTESİ.....                                         | vi  |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                            | vii |
| TABLO LİSTESİ.....                                            | ix  |
| ÖZET.....                                                     | x   |
| ABSTRACT.....                                                 | xi  |
| <br>                                                          |     |
| 1. GİRİŞ.....                                                 | 1   |
| <br>                                                          |     |
| 2. İSTANBUL BOĞAZI'NIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....              | 3   |
| 2.1 İstanbul Boğazı'nın Morfolojik Özellikler .....           | 3   |
| 2.2 İstanbul Boğazı'nın Meteorolojik Özellikleri.....         | 9   |
| 2.2.1 Meteorolojik özellikler.....                            | 9   |
| 2.2.1.1 Rüzgar.....                                           | 16  |
| 2.2.1.2 Yağış .....                                           | 21  |
| 2.2.1.3 Atmosferik basınç.....                                | 22  |
| 2.2.1.4 Hava sıcaklığı.....                                   | 23  |
| 2.3 İstanbul Boğazı'nın Hidrolik Yapısı.....                  | 24  |
| 2.4 İstanbul Boğazı'ndaki su dengesi ve karışımı.....         | 28  |
| 2.5 İstanbul Boğazı'nda alt tabaka akımının bloklanması.....  | 30  |
| <br>                                                          |     |
| 3. SU ORTAMINDA BULUNAN KİRLETİCİ MADDELERİN BOZUNMASI.....   | 33  |
| 3.1 Su Ortamına Kirleten Çeşitli Kirletici Kaynaklar.....     | 33  |
| 3.1.1 Evsel atıksuların etkisi .....                          | 33  |
| 3.1.2 Şehir yağmur suyu drenajının etkisi .....               | 33  |
| 3.1.3 Zirai faaliyetler .....                                 | 34  |
| 3.1.4 Evsel ve tehlikeli atıkların uzaklaştırma alanları..... | 36  |
| 3.1.5 Atmosferik kirletici kaynakların etki.....              | 36  |
| 3.2 Su Kalitesini Etkileyen Temel Besi Maddeleri .....        | 36  |
| 3.2.1 Su ortamında azot dengesi .....                         | 36  |
| 3.2.1.1 Amonyak .....                                         | 37  |
| 3.2.1.2 Nitrat ve nitrit.....                                 | 38  |
| 3.2.1.3 Organik azot .....                                    | 40  |
| 3.2.3 Fosfor bileşikleri ve döngüsü.....                      | 40  |

|       |                                                                                              |    |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3   | Su Kalitesi Kontrolünde Organik Kirlenmeyi Gösteren Parametreler.....                        | 42 |
| 3.3.1 | Toplam organik karbon.....                                                                   | 43 |
| 3.3.2 | Kimyasal oksijen ihtiyacı.....                                                               | 43 |
| 3.3.3 | Biyolojik oksijen ihtiyacı.....                                                              | 44 |
| 3.3.4 | Hümik ve fülvik asitler .....                                                                | 44 |
| 3.4   | Su Kalitesini Etkileyen Organik Kirleticiler.....                                            | 45 |
| 3.4.1 | Mineral yağ ve petrol ürünleri.....                                                          | 45 |
| 3.4.2 | Fenol.....                                                                                   | 46 |
| 3.4.3 | Pestisitler.....                                                                             | 47 |
| 3.4.4 | Deterjanlar.....                                                                             | 47 |
| 3.5   | Su Ortamında Kirletici Maddelerin Taşıma Mekanizmaları .....                                 | 48 |
| 3.6   | Su Ortamında Kirletici Maddelerin Bozunma Mekanizmaları .....                                | 49 |
| 3.6.1 | Hidroliz .....                                                                               | 49 |
| 3.6.2 | Oksidasyon-Redüksiyon.....                                                                   | 49 |
| 3.6.3 | Fotoliz.....                                                                                 | 50 |
| 3.6.4 | Buharlaştırma.....                                                                           | 50 |
| 3.6.5 | Sorpsiyon .....                                                                              | 50 |
| 3.6.6 | Biyolojik bozunma.....                                                                       | 51 |
| 4.    | İSTANBUL BOĞAZI'NDA AKINTI OLUŞTURAN SULARIN<br>KALİTESİ ve DAHA ÖNCE UYGULANA MODELLER..... | 52 |
| 4.1   | Marmara Denizi'nde Su Kalitesi.....                                                          | 52 |
| 4.2   | Karadeniz'den Kaynaklanan Kimyasal Maddeler.....                                             | 53 |
| 4.3   | İstanbul Boğazı'nda Yapılan Kirlilik Ölçümleri.....                                          | 59 |
| 4.4   | İstanbul Boğazı'nda Uygulana 3D Modelinin Tanımlanması.....                                  | 69 |
| 5.    | İSTANBUL BOĞAZI'NDA UYGULANAN FOSFOR DEĞİŞİM<br>MODELİNİN TANIMLANMASI.....                  | 71 |
| 5.1   | Modele Genel Bakış.....                                                                      | 71 |
| 5.2   | Phytoplankton Büyüme Kinetikleri .....                                                       | 71 |
| 5.2.1 | Maksimum büyüme hızı,sıcaklık ve ışığın etkisi.....                                          | 73 |
| 5.2.2 | Besi maddesi etkisi.....                                                                     | 75 |
| 5.2.3 | Phytoplankton ölüm kinetiği.....                                                             | 75 |
| 5.3   | Fosfor dönüşümü.....                                                                         | 77 |

|     |                                                                                       |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.  | FOSFOR DEĞİŞİM MODELİNİN UYGULANMASI.....                                             | 80 |
| 6.1 | Phytoplanktondan Fosfor Dönüşümünde Yararlanılan Parametrelerin<br>Elde Edilmesi..... | 80 |
| 6.2 | Boğaz Boyunca İnorganik Fosfor Dönüşüm Grafikleri.....                                | 83 |
| 7.  | SONUÇLAR.....                                                                         | 93 |
|     | KAYNAKLAR.....                                                                        | 95 |
|     | ÖZGEÇMİŞ.....                                                                         | 98 |



## KISALTMA LİSTESİ

|      |                                     |
|------|-------------------------------------|
| BOİ  | Biyolojik Oksijen İhtiyacı          |
| ÇİP  | Çözülmüş İnorganik fosfor           |
| ÇON  | Çözülmüş Organik Azot               |
| ÇOP  | Çözülmüş Organik Fosfor             |
| DHI  | Danish Hydraulic Institute          |
| EPA  | Environmental Protection Agency     |
| İSKİ | İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi |
| GC   | Gaz Kromatograf                     |
| KOİ  | Kimyasal Oksijen İhtiyacı           |
| LC   | Sıvı Kromatograf                    |
| MS   | Katı Spektrofotometre               |
| PCB  | Poli Klorlu Bifenil                 |
| POK  | Partiküler Organik Karbon           |
| PON  | Partiküler Organik Azot             |
| PP   | Partiküler Fosfor                   |
| TOK  | Toplam Organik Karbon               |
| TP   | Toplam Fosfor                       |
| WHO  | World Health Organization           |
| WQA  | Water Quality Assesment             |

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

|             |                                                                                                                                |    |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1   | İstanbul Boğazı'nın morfolojik özellikleri.....                                                                                | 4  |
| Şekil 2.2   | Karadeniz'in dip topografyası .....                                                                                            | 5  |
| Şekil 2.3   | Güney Batı Karadeniz'in batimetrisi.....                                                                                       | 5  |
| Şekil 2.4   | İstanbul Boğazı kanyonu .....                                                                                                  | 6  |
| Şekil 2.5   | İstanbul Boğaz kanyonu boykesiti.....                                                                                          | 6  |
| Şekil 2.6   | Karadeniz'in genel batimetrisi.....                                                                                            | 7  |
| Şekil 2.7   | Karadeniz'in hipsografik unsurları.....                                                                                        | 8  |
| Şekil 2.8   | Karadeniz-Marmara kesimi batimetrisi.....                                                                                      | 10 |
| Şekil 2.9   | Karadeniz üzerinde hava sıcaklıkları dağılımı.....                                                                             | 12 |
| Şekil 2.10  | Karadeniz üzerinde yağış dağılımı.....                                                                                         | 13 |
| Şekil 2.11  | Karadeniz-Marmara Kesimi ve Karadeniz-Boğaz kesimi ile bunların birleşiminden oluşan Karadeniz-Boğaz-Marmara kesimi.....       | 14 |
| Şekil 2.12  | Meteorolojik alt bölge.....                                                                                                    | 15 |
| Şekil 2.13  | Rüzgarlar gülü.....                                                                                                            | 16 |
| Şekil 2.14  | I. Kısımda Rüzgarların aylık ortalamaların hız dağılımı.....                                                                   | 17 |
| Şekil 2.15  | II. Kısımda Rüzgarların aylık ortalamaların hız dağılımı.....                                                                  | 19 |
| Şekil 2.16  | I.Kısımın aylık ortalama yağış dağılımı.....                                                                                   | 21 |
| Şekil 2.17  | II.Kısımın aylık ortalama yağış dağılımı.....                                                                                  | 22 |
| Şekil 2.18  | I.Kısımın aylık ortalama basınç dağılımı.....                                                                                  | 22 |
| Şekil 2.19  | II.Kısımın aylık ortalama basınç dağılımı.....                                                                                 | 23 |
| Şekil 2.20  | I.Kısımın aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı.....                                                                          | 23 |
| Şekil 2.21  | II.Kısımın aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı.....                                                                         | 24 |
| Şekil 2.22  | Karadeniz'de yağış ve su seviyesinin yıl içinde değişimi .....                                                                 | 27 |
| Şekil 2.23  | Karadeniz kıyılarında kar kalınlıkları ve su seviyesinin yıl içinde değişimi.....                                              | 27 |
| Şekil 2.24  | Karadeniz ve Marmara Denizi'nde aylık su seviyesi değişimi .....                                                               | 28 |
| Şekil 2.25  | Karadeniz Marmara Denizi arasında su alışverişi.....                                                                           | 29 |
| Şekil 2.26  | Karadeniz yüzey suyunun İstanbul Boğazı'nda terslenmesi.....                                                                   | 31 |
| Şekil 2.27  | Akdeniz suyunun Güneybatı Karadeniz'de terslenmesi.....                                                                        | 32 |
| Şekil 3.1   | Toplam azotun dağılımı .....                                                                                                   | 37 |
| Şekil 3.2   | Amonyanın su ortamında sıcaklığa ve pH'ya bağlı olarak iyonlaşma yüzdesi.....                                                  | 38 |
| Şekil 3.3   | Saf suda pH değerine bağlı olarak fosfatın değişik formlardaki değerleri ...                                                   | 41 |
| Şekil 3.4   | Toplam fosforun yapısal dağılımı.....                                                                                          | 41 |
| Şekil 4.1.a | İstanbul ve Marmara Denizi'nde azot dağılımı .....                                                                             | 54 |
| Şekil 4.1.b | İstanbul ve Marmara Denizi'nde fosfor dağılımı .....                                                                           | 54 |
| Şekil 4.1.c | İstanbul ve Marmara Denizi'nde birincil üretim dağılımı.....                                                                   | 55 |
| Şekil 4.2   | İstanbul Boğazı'ndaki ölçüm istasyonlarının konumları.....                                                                     | 60 |
| Şekil 4.3   | İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen orto fosfat aylara göre konsantrasyonlarının değişimi.....                           | 62 |
| Şekil 4.4   | İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen orto fosfat boğaz boyunca ölçüm konsantrasyonlarının istasyonlarındaki değişimi..... | 62 |

|            |                                                                                                                                               |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 4.4  | İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen orto fosfat boğaz boyunca ölçüm konsantrasyonlarının istasyonlarındaki değişimi.....62              |
| Şekil 4.5  | İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen orto fosfat aylara göre konsantrasyonlarının değişimi.....64                                       |
| Şekil 4.6  | İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen boğaz boyunca ölçüm orto fosfat konsantrasyonlarının istasyonlarındaki değişimi .....64            |
| Şekil 4.7  | İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ konsantrasyonlarının aylara göre değişimi .....66                         |
| Şekil 4.8  | İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ konsantrasyonlarının boğaz boyunca ölçüm istasyonlarında değişimi.....66  |
| Şekil 4.9  | İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ konsantrasyonlarının aylara göre değişimi.....68                         |
| Şekil 4.10 | İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ konsantrasyonlarının boğaz boyunca ölçüm istasyonlarında değişimi.....68 |
| Şekil 5.1a | Net büyümede phytoplanktonun zamana bağlı değişimi, $C_g > C_d$ ,.....72                                                                      |
| Şekil 5.1b | Net büyümede phytoplanktonun zamana bağlı değişimi, $C_g = C_d$ ,.....72                                                                      |
| Şekil 5.1c | Net büyümede phytoplanktonun zamana bağlı değişimi, $C_g < C_d$ ,.....72                                                                      |
| Şekil 5.2a | Bulutsuz bir havada bir gün için güneş ışınlarının aktif değişimi .....74                                                                     |
| Şekil 5.2b | Işık doygunluk yoğunluğunun ortalama değeri.....74                                                                                            |
| Şekil 5.3  | Büyüme hızında nütrient sınırlama etkisi.....75                                                                                               |
| Şekil 5.4  | Fosfor-Phytoplankton çevrimi .....78                                                                                                          |
| Şekil 6.1  | 1996 Ocak ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....84                                  |
| Şekil 6.2  | 1996 Şubat ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....84                                 |
| Şekil 6.3  | 1996 Mart ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....85                                  |
| Şekil 6.4  | 1996 Nisan ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....85                                 |
| Şekil 6.5  | 1996 Mayıs ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....86                                 |
| Şekil 6.6  | 1996 Haziran ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....86                               |
| Şekil 6.7  | 1996 Temmuz ayında İstanbul Boğazı Boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....88                                |
| Şekil 6.8  | 1996 Ağustos ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....88                               |
| Şekil 6.9  | 1996 Eylül ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....89                                 |
| Şekil 6.10 | 1996 Ekim ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....89                                  |
| Şekil 6.11 | 1996 Kasım ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi.....90                                 |

|            |                                                                                                              |    |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 6.12 | 1996 Aralık ayında İstanbul Boğazı boyunca ortalama inorganik fosfor konsantrasyonunun zamanla değişimi..... | 90 |
| Şekil 6.13 | Boğaz Boyuca İnorganik fosfor konsantrasyonunda aylara göre değişim....                                      | 92 |



|           |                                                                                                                                                                    |    |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1 | İstanbul'da meteoroloji istasyonlarında ölçülen parametrelerin ortalama yıllık değerleri .....                                                                     | 11 |
| Tablo 2.2 | Güneybatı Karadeniz'in mevsimsel ortalama rüzgar hızı dağılımı .....                                                                                               | 16 |
| Tablo 2.3 | Güneybatı Karadeniz'in mevsimsel ortalama rüzgar yön dağılım yüzdeleri.....                                                                                        | 17 |
| Tablo 2.4 | I Kısım için rüzgarların etkin olduğu aylar ve hız değerleri.....                                                                                                  | 17 |
| Tablo 2.5 | I Kısımda rüzgarların en sık olarak estiği aylar .....                                                                                                             | 19 |
| Tablo 2.6 | II Kısım için rüzgarların etkin olduğu aylar ve hız değerleri.....                                                                                                 | 20 |
| Tablo 2.7 | II Kısımda rüzgarların en sık olarak estiği aylar .....                                                                                                            | 20 |
| Tablo 2.8 | Boğaziçi'ndeki yıllık su debisi tahminleri.....                                                                                                                    | 29 |
| Tablo 3.1 | Endüstriyel olmayan kirlenme kaynaklarında su kalitesinin değerlendirilmesinde çeşitli bölümler.....                                                               | 34 |
| Tablo 4.1 | İstanbul Boğazı üst ve alt tabakalarında kirlilik konsantrasyonu.....                                                                                              | 53 |
| Tablo 4.2 | İstanbul Boğazının Karadeniz girişinde üst su tabakasına, marmara girişinde ise tuzlu alt su tabakasına ait yıllık ortalama inorganik madde konsantrasyonları..... | 58 |
| Tablo 4.3 | İstanbul Boğazı'nda belirli istasyonlarda 5 m derinlikte ölçülen orto fosfatın aylara göre dağılımı.....                                                           | 60 |
| Tablo 4.4 | İstanbul Boğazı'nda belirli istasyonlarda 50 m derinlikte ölçülen orto fosfatın aylara göre dağılımı.....                                                          | 63 |
| Tablo 4.5 | İstanbul Boğazı'nda belirli istasyonlarda 5m derinlikte ölçülen $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ aylara göre dağılımı.....                                                | 65 |
| Tablo 4.6 | İstanbul Boğazı'nda belirli istasyonlarda 50m derinlikte ölçülen $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ aylara göre dağılımı.....                                               | 67 |
| Tablo 5.1 | Zooplankton kullanım hızı oranı.....                                                                                                                               | 76 |
| Tablo 5.2 | Fosfor-karbon ve azot-karbon oranları.....                                                                                                                         | 77 |
| Tablo 5.3 | Parametrelerin kullanım aralıkları .....                                                                                                                           | 79 |
| Tablo 6.1 | İstanbul Boğazı'nda fosfor çevrimi modelinde kullanılan değerler.....                                                                                              | 81 |
| Tablo 6.2 | Model sonucunda K0 ve B2 istasyonlarında elde edilen inorganik fosfor konsantrasyonlarında azalma.....                                                             | 90 |

## ÖZET

Bu çalışmada İstanbul Boğazı'nda Karadeniz'den Marmara Denizine doğru akan üst tabakada Fosfor Değişim Modeli uygulanmıştır. Bu modelle Karadeniz'in İstanbul Boğazı bağlantısında KO ölçüm istasyonundan İstanbul Boğazı'nın Marmara Denizi ile bağlantı noktası B2 ölçüm istasyonu arasındaki mesafede phytoplankton bünyesinde bulunan inorganik fosfor konsantrasyonundaki değişim incelenmiştir. İstanbul boğazının morfolojik ve atmosferik şartları 1996 yılı içinde mevsimlere ve aylara göre nasıl bir değişimin olduğu incelenmiştir. İstanbul Boğazındaki akış, Karadeniz ile Marmara Denizi su yüzü kotu arasındaki ortalama 55 cm'lik fark ile Marmara denizin %3.85 ve Karadeniz'in %1.75'lik tuzluluğun oluşturduğu yoğunluk farkından meydana gelmektedir. İstanbul Boğazı'nda üst tabakada, yani Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru olan ortalama akıntı hızı 0.5-0.6 m/s'dir. Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru olan alt tabakadaki akıntı hızı ise 0.4-0.5 m/sn'dir. İstanbul Boğazı'nda 1996 yılı içinde M23, B2, B7, B13, K0, K01 istasyonlarında 5 m ve 50 m derinliklerde inorganik fosfor ve  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  konsantrasyonları aylık olarak ölçülmüştür. Bunun sonucunda K0 ile B2 istasyonları arasında inorganik fosfor konsantrasyonlarında yıllık ortalama değerlerde üst tabakada %14'lük bir artış alt tabakada %30'luk bir azalma gözlenmiştir. K0 istasyonunda 5 m derinlikte yapılan phytoplankton konsantrasyon değerleri fosfor değişim modelinde kullanılarak phytoplankton bünyesinde bulunan inorganik fosfor konsantrasyonu değişimi K0 ile B2 istasyonu arasında incelenmiştir. Uygulanan Fosfor Değişim Modeli ile elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle İstanbul Boğazı boyunca üst tabakada bulunan Phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonunda %78'lik bir azalma görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:**İstanbul Boğazı, Fosfor Değişim Modeli, Ötröfikasyon, Phytoplankton Kinetiği, Özümleme Kapasitesi

## ABSTRACT

In this study, The phosphorus transformation model was applied to the top layer of Bosphorus which flows from Black Sea to Marmara Sea. The changes of inorganic phosphorus concentration in phytoplankton biomass between K0 measuring station in Bosphorus connection of Black Sea and B2 measuring station in Bosphorus connection of Marmara Sea was determined by this model. The morphological conditions and annual and seasonal meteorological parameters of Bosphorus were investigated. The flow in Bosphorus depends on the difference of average 55 cm water level between the Black Sea and Marmara Sea and the difference of density (3.85 % in Marmara Sea and 1.75 % in Black Sea). The average velocity of top layer of Bosphorus which flows from Black Sea to Marmara Sea is 0.5-0.6 m/s. The average velocity of lower layer of Bosphorus which flows from Marmara Sea to Black Sea is 0.4-0.5 m/s. The concentration of inorganic phosphorus and  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  were measured at M23, B2, B7, B13, K0, K01 stations in Bosphorus at the depth of between 5 and 50 m every month in 1996. As a result, it was found that there is 14% increase in top layer and 30 % decrease between K0 and B2 stations in lower layer in inorganic phosphorus concentrations. The concentration changes of inorganic phosphorus between K0 and B2 stations were investigated by using phosphorus transformation model to which the phytoplankton concentration values was applied. By using this model, it was found that in Bosphorus there was % 78 decrease in phosphorus originating from phytoplankton.

**Keyword:** Bosphorus, Phosphorus Transformation Model, Eutrophication, Phytoplankton Kinetics, Assimilation Capacity

## 1.GİRİŞ

Ötröfikasyon, su ortamına verilen azot ve fosfor gibi besi maddelerinin bu ortamda yüksek seviyede yeni su canlısı oluşturarak olumsuz etkilerin artmasıyla su kalitesinde meydana getirdiği olumsuz değişime denir. Göllerin, körfezlerin, koyların ve nehirlerin kirlenme mekanizmaları birbirinden farklıdır. Bu mekanizmalar evsel ve endüstriyel atıksuların deşarjı, atmosferdeki kirleticilerin su ortamına geçmesi, tarımda kullanılan kimyasalların yağışlarla su ortamına sürüklenmesi, çöp ve tehlikeli atık depolarından sızma sonucu kirletici maddelerin su ortamına girmesi ile meydana gelir. Su ortamındaki mikroorganizmalar iki farklı yapıda bulunurlar. Bunlar su ortamında serbest bir şekilde hareket eden mavi-yeşil alg olarak isimlendirilen planktonik su bitkileri ile ortamda bulunan maddelere yapışmış bentik algler ve köklü bitkilerdir. Bütün bu bitkiler fotosentez süresince birincil enerji olarak güneş ışığından yararlanır.

Karadeniz ve Marmara suları İstanbul Boğazı'ndan geçerek yer değiştirir. Buradaki su dengesi yaklaşık %1.75 tuzluluğa sahip Karadeniz suyu üst tabakadan Marmara Denizi'ne, Akdeniz menşeli yaklaşık %3.85 tuzluluğa sahip Marmara denizi suyu alt tabakadan Karadeniz'e taşınır(Yüce, 1987). Su yüzü kotu Karadeniz Boğaz girişi ile Marmara girişi arasında ortalama 30 cm'lik bir farktan dolayı hidrolik olarak Marmara'ya doğru akışın diğer bir sebebidir. Karadeniz ile Marmara Denizi arasında seviye farkı Karadeniz'in bir iç deniz olması ve havzanın nehirlerle beslenmesi sonucunda oluşur. İstanbul Boğazı'nda su akışını etkileyen diğer önemli etkenler ise atmosfer basıncı, mevsimlere göre değişen hava sıcaklığı, farklı yön ve değişik şiddetlerde esen rüzgarlar sayılabilir. Bazı zamanlarda yukarda sayılan etkenlere bağlı olarak Karadeniz'den Marmara'ya su akışı bloklanmakta ve akış gerçekleşmemektedir.

İstanbul Boğazının her iki bölgesinde İstanbul Metropoliteni yer almaktadır. Bu şehirden kaynaklanan evsel ve endüstriyel nitelikli atıksular fiziksel ön arıtma tesislerinde arıtıldıktan sonra boğaz alt tabaka akımına derin deniz deşarjı şeklinde verilmekte ve alt tabakayla karışan atıksu Karadeniz'e seyreterek taşındığı kabul edilmektedir. Bunun yanında, boğaz havzasında yer alan yüzeysel sularla taşınan kirletici maddeler boğaz üst tabaka suyuna karışmaktadır. Bu her iki olay su akışını oluşturan alt ve üst tabakanın

kirlenmesinde etkili rol oynamaktadır. Bununla beraber Karadeniz ve Marmara Denizinde son yıllarda kirlenme seviyesinin artışı ve buna ilave olarak yukarıda sayılan olayların olması İstanbul Boğazı'nda ciddi kirlenme probleminin olduğunu göstermektedir. Bunu belirlemek için geçmiş yıllarda uzun dönemli su kalitesi izleme çalışmaları yapılmıştır. Boğaz boyunca belirlenen ölçüm istasyonlarında yapılan analiz sonuçlarına göre kirlenme durumu incelenmiştir.

Model çalışmaları, su ortamında her zaman su kalitesi parametrelerinin ölçümleri mümkün olmadığı ve mali olarak her zaman yeterli kaynak bulunamadığı zamanlarda uygulanır. Bu çalışmada phytoplankton kinetiği ve fosfor değişim modeli kullanılarak boğaz boyunca meydana gelen inorganik fosfor çevrimi incelenmiştir. EPA tarafında kullanılan ve Ambrose vd.(1988) tarafından geliştirilmiş olan bu model, üç boyutlu dinamik simülasyon çalışmaları için uygulanmaktadır. Bu çalışmada KO ölçüm istasyonunda elde edilen phytoplankton konsantrasyon değerleri kullanılarak Karadeniz'den Marmara'ya doğru akan 20 m kalınlıktaki üst tabakada 5 m derinlik için phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor dönüşümü matematiksel olarak belirlenmiştir.

## 2. İSTANBUL BOĞAZI'NIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

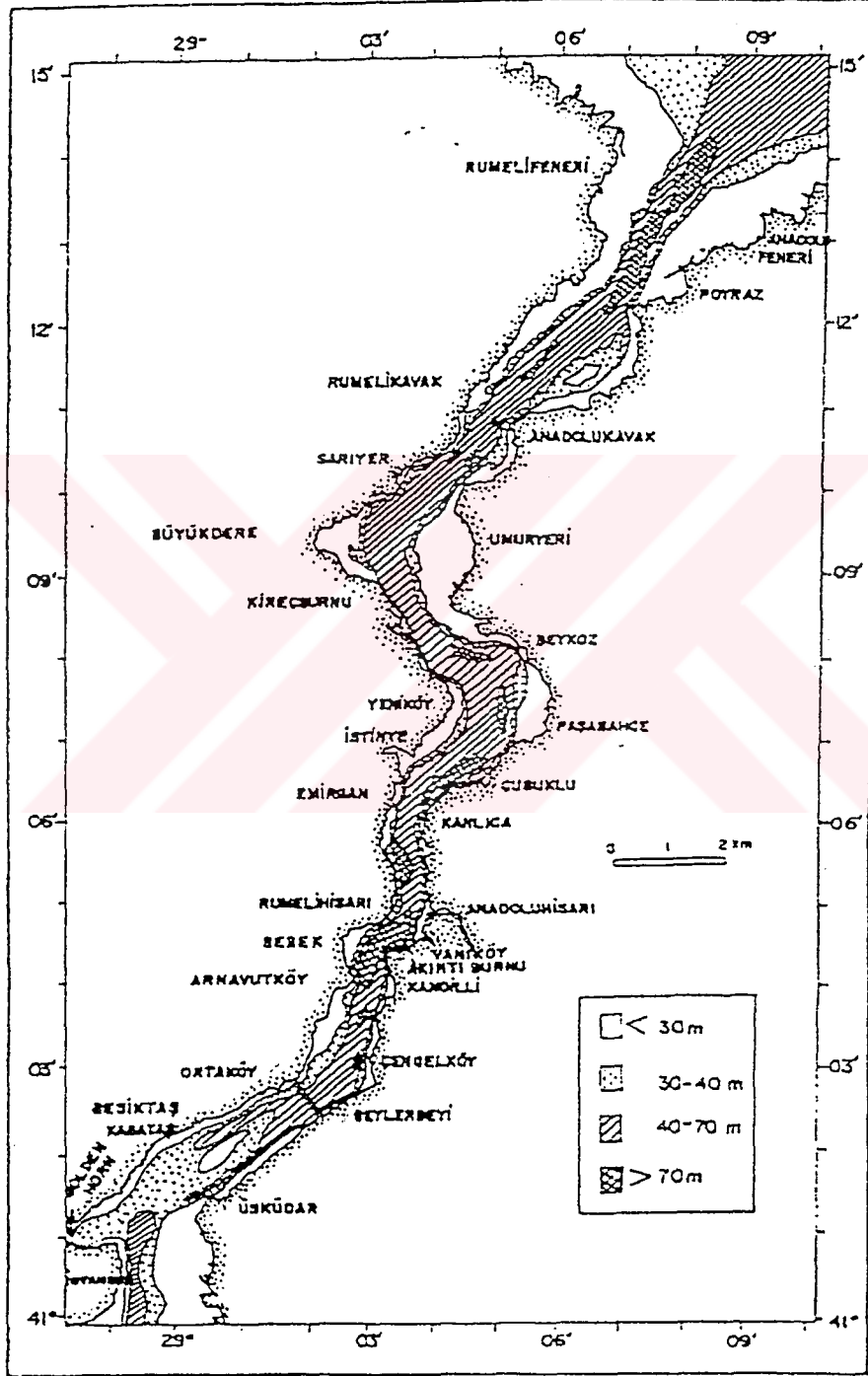
### 2.1. İstanbul Boğazı'nın Morfolojik Özellikler

Marmara Denizi ile Karadeniz'i birbirini bağlayan İstanbul Boğazı'nın uzunluğu 31 km'dir. Şekil 2.1'de İstanbul Boğazının morfolojik özellikleri görülmektedir. Genişliği ve derinliği boyuna doğrultuda sürekli olarak değişmektedir. Bu değişim, genişlik için 0.7 km ile 3.5 km, derinlik için ise 30 m ile 110 m arasındadır. Marmara çıkışının 3 km kadar kuzeyinde derinliği 33 m olan bir eşik ve Karadeniz çıkışından 3 km kadar kuzeyde derinliği 33 m olan bir eşik ve Karadeniz çıkışından 4 km sonra derinliği 60 m olan ikinci bir eşik bulunmaktadır.

İstanbul Boğazı Karadeniz'e ani bir genişlemeyle açılmaktadır. Bu açılımın tabanında boğazın doğal bir uzantısı konumunda dar ve derin bir kanal bulunmaktadır. Bu kanal 8 km uzunlukta olup boğaz ile aynı yönde yani kuzeydoğu yönünde uzanmakta ve daha sonra kuzeybatıya dönerek kıta sahanlığına bağlanmaktadır (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3). 60 m derinlikteki boğaz eşiklerinden başlayan bu kanalın derinliği eşik sonunda 75-80 m'ye ve kıta sahanlığı sonunda 1000 m'ye ulaşır. Bu kanalın genişliği ise 500-1000 m'dir. Boğaz bölgesinin kıyıları 0-200 m derinliğe ulaşmakta olup, su derinliği 20 km den sonra 2000 m'ye ulaşır (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5).

Karadeniz Boğaz bölgesinin içinde yer alan Karadeniz'in yüzey alanı 413488 km<sup>2</sup>, su hacmi 547015 km<sup>3</sup>'tür (Shuisky,1993), bazı kısımlarda derinlik 2000 m'yi geçmektedir. Maksimum genişliği Batı Karadeniz'de 615 km, uzunluğu ise 1148 km'dir. Toplam kıyı uzunluğu ise 4431 km'dir.

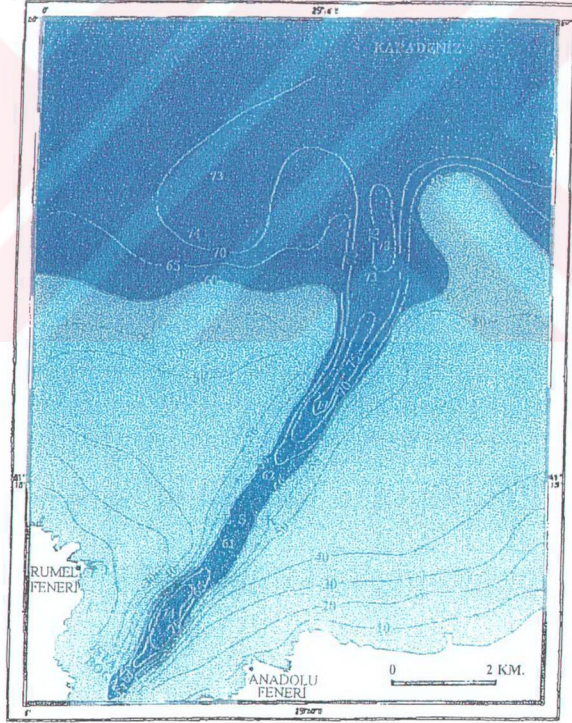
Bu derinlikte toplam su hacminin %60'ının yer aldığı düz bir dip çanağı şeklinde olduğu Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Deniz ortamında en fazla 200 m derinliğe kadar olan kıyısız şeridin genişliği 3-15 km'dir. Romanya ve Ukrayna kıyılarını da içine alan Kuzey Batı Karadeniz sahilinin kıyı şeridi genişliği 190-200 km'dir. Karadeniz'de yüksek dalgaların oluşumu bu morfolojik yapıdandır.



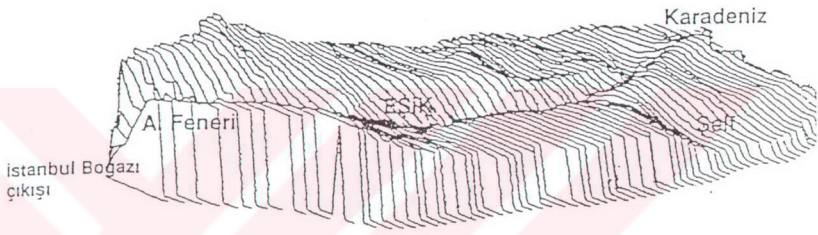
Şekil 2.1 İstanbul Boğazı'nın morfolojik özellikleri (İSKİ, 1997)



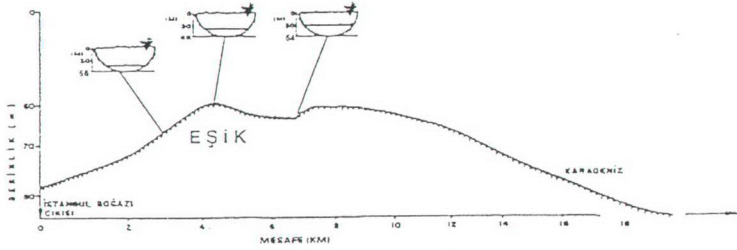
Şekil 2.2 Karadeniz'in dip topografyası (İSKİ, 1997)



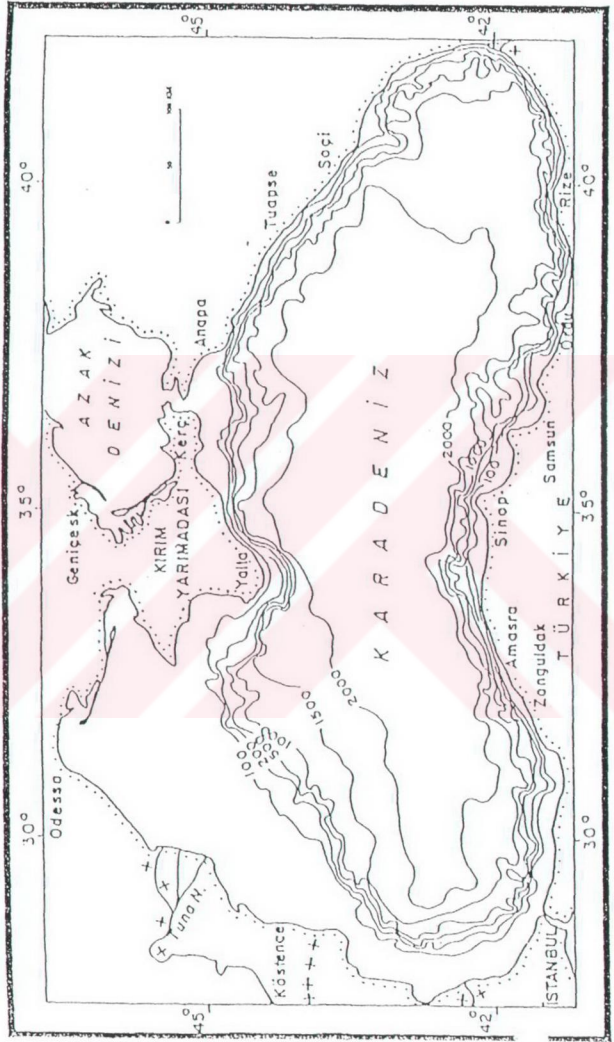
Şekil 2.3 Güney Batı Karadeniz'in batimetrisi (İSKİ, 1997)



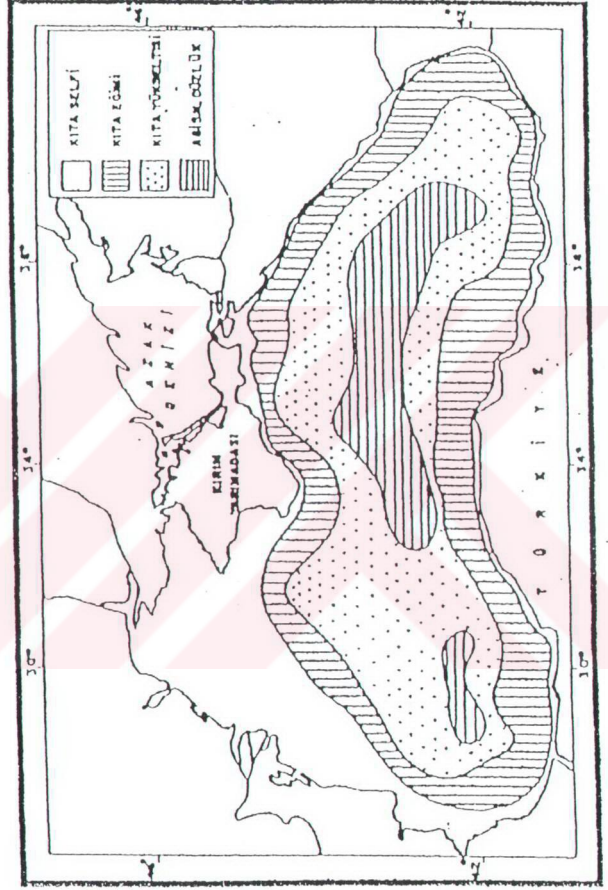
Şekil 2.4 İstanbul Boğazı kanyonu (İSKİ, 1997)



Şekil 2.5 İstanbul Boğaz kanyonu boykesiti (İSKİ, 1997)



Şekil 2.6. Karadeniz'in genel batimetrisi (İSKİ, 1997)



Şekil 2.7. Karadeniz'in hipsografik unsurları (İSKİ, 1997)

Marmara Denizi'nin kuzey kıyı şeridi hattı geniştir. Büyükçekmece ve Küçükçekmece girintilerinde, batıda Bababurun'dan doğuda Yeşilköy'e kadar olan kısımda 10 m sahil hattı şeridi kıyıdan yaklaşık 300-500 m uzaktan geçmektedir. Ataköy açıklarında 1000 metreye kadar genişlemekte, Boğaziçi'nin güney burnunda yer alan Ahırburnu yakınlarında 100 m civarına düşmektedir. Ahırkapı'dan güney istikametine gidildikçe 10 m derinlik seviyesi üzerinde sıkı bir kumsal vardır.

Şekil 2.8'de Karadeniz-Boğaz-Marmara denizi birleşimi batimetrisi gösterilmiştir. Bu alanda -10 m olan piknoklin üst kotu kıyıdan 500-1000 m, -30 m olan alt kotu ise 2500-5000 m mesafeden geçmektedir. Ancak bu kesimler içinde güneybatı yönünde Boğaz girişine doğru uzanan 50-60 m derinliğinde kanallar da yer almaktadır (İSKİ, 1997).

## **2.2. İstanbul Boğazı'nın Meteorolojik Özellikleri**

### **2.2.1 Meteorolojik Özellikler**

İstanbul Boğazı'nda etkisi olan meteorolojik özelliklerden hava sıcaklığı, basınç, yağış ve rüzgar rejimleri incelenmiştir. Karadeniz, ılıman ve tropik bölgeler arasında geçiş oluşturan bir iç denizdir. Son 120 yıllık meteorolojik gözlemler sonucu, kışların % 15'i sert, %35'i orta sertlikte, % 50'si ise ılıman geçtiği görülmüştür (İSKİ, 1997).

Bölge Akdeniz ve Karadeniz iklimleri arasında bir geçiş niteliğinin yanı sıra, karasal iklim özelliklerini de göstermektedir. Sonuç olarak kış ve bahar ayları ılıman ve yağışlı geçerken yaz mevsimi genellikle sıcak ve kuraktır. Boğazın kuzey kesiminde ise Karadeniz kıyıları boyunca sert bir iklim yapısı etkili olmaktadır. Ancak güneye doğru gidildikçe bu özellik etkisini giderek yitirmektedir.

Boğaz-Marmara Bölgesi, Ekim-Mart dönemlerinde siklonik karakterli alçak basınç sistemlerinin etkisinde kalmakta ve bu sistemlerin geçişleri esnasında meydana getirdiği lodos rüzgarları bölgeyi etkisi altına almaktadır. Bu rüzgarların yıllık ortalama içinde yüzdesi %20'dir. Kış aylarında lodos rüzgarları aynı sıklıkta etkisi olan ve yıllık ortalama içinde yüzde %60'lık paya sahip olan kuzeyli poyraz rüzgarları da görülmektedir.



Şekil 2.8 Karadeniz-Marmara kesimi batimetrisi

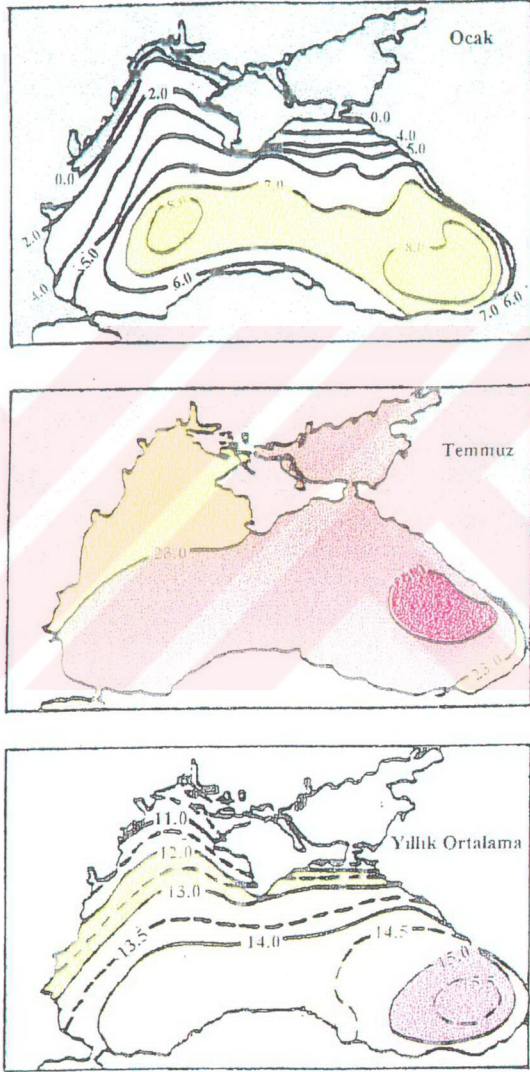
Boğaz-Marmara Bölgesinde, en yüksek yağışlar Ekim-Mart döneminde görülmektedir. Bu dönemin tüm Marmara Denizi su bütçesi üzerindeki etkisi yaz aylarında görülen buharlaşmasıyla beraber yaklaşık 11 km<sup>3</sup>/yıl'dır. İstanbul'da çeşitli meteoroloji istasyonlarında ölçülen meteorolojik parametrelerinin yıllık ortalama değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir (Gönenç, 1996).

Tablo 2.1 İstanbul'da Meteoroloji İstasyonlarında Ölçülen Parametrelerin Ortalama Yıllık Değerleri (Gönenç, 1995)

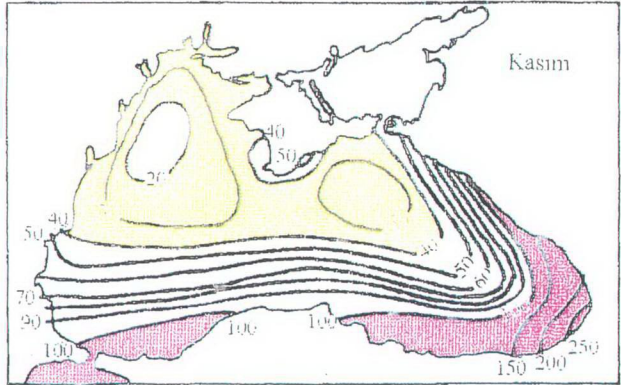
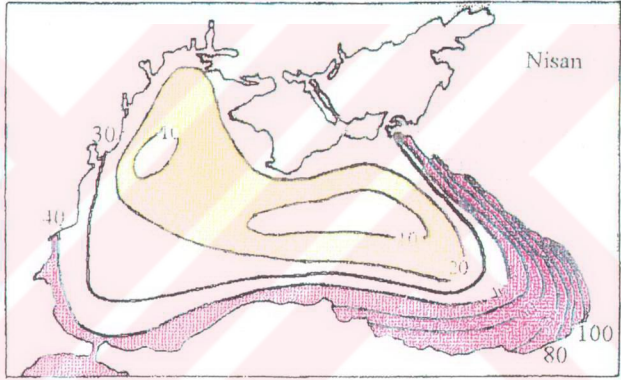
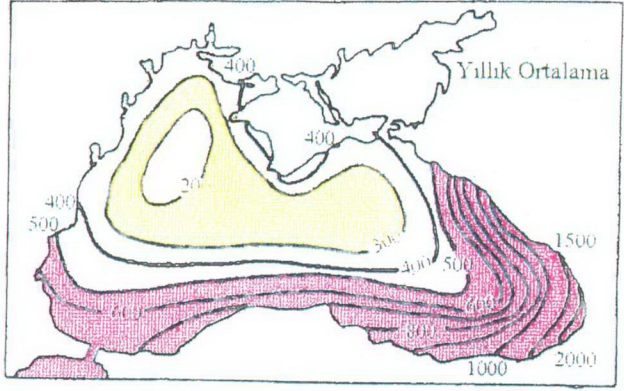
| Parametreler                  | Bahçeköy | Florya | Göztepe | Kumköy | Sarıyer | Şile   | Yalova | Yeşilköy |
|-------------------------------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|----------|
| Yıllık ortalama basınç (mb)   | 1000,6   | 1011   | 1011,1  | 1011,1 | 1011    | 1009,9 | 1014,6 | 1014,3   |
| Ortalama sıcaklık (C)         | 12,8     | 13,8   | 14      | 13,9   | 13,8    | 14,6   | 14,3   | 13,7     |
| Toprak üstü min. sıcaklık (C) | -17,4    | -15,4  | -18,4   | -10,4  | *       | -10,8  | -9,8   | *        |
| Ortalama açık gün sayısı      | 57,2     | 76,3   | 76,6    | 46,7   | 61,5    | 51,9   | 81,4   | 71,6     |
| Ortalama bulutlu gün sayısı   | 216      | 202,6  | 189,4   | 211,4  | 197,8   | 188,7  | 184,4  | 193,7    |
| Ortalama kapalı gün sayısı    | 91,6     | 86,4   | 99,2    | 107,2  | 105,8   | 121,4  | 99,5   | 100      |
| Yıllık toplam yağ. ort. (mm)  | 1074,4   | 649,1  | 673,4   | 717,3  | 752,5   | 747,1  | 759,7  | 691,4    |
| Ort. kar yağış gün sayısı     | 10,7     | 7,8    | 7,6     | 6,5    | 7,7     | 5,4    | 3,2    | 7        |
| Ortalama sisli gün sayısı     | 19       | 13,3   | 9,4     | 21,8   | 16,7    | 17,1   | 7,1    | 8,9      |
| Ortalama dolulu gün sayısı    | 2,3      | 0,8    | 1,5     | 2,6    | 1,7     | 0,8    | 0,5    | 0,5      |
| Ortalama kırılgılı gün sayısı | 22,7     | 2,1    | 15,7    | 10,8   | 12,2    | 11,8   | 14,3   | 16,3     |
| Ortalama rüzgar hızı (m/s)    | 2,2      | 3,5    | 3       | 4,9    | 4,7     | 3,1    | 1,8    | 4,1      |
| Ortalama rüzgar yönü          | KB       | G      | K       | KKB    | GGB     | BKB    | KB     | K        |
| Mak. toprak sıcaklığı (5cm)   | 14,7     | 15,6   | 16,3    | 15,2   | 15,2    | 14,6   | 15,3   | 17,5     |

Yıllık alınan solar ısı 100 kcal/cm<sup>2</sup>'dir. Ancak hava sıcaklıkları termal denge ve atmosferik çevrimlere bağlı olarak mevsimlere ve yöreye göre değişir. Karadeniz bölgesinde yıllık ortalama sıcaklık dağılımı bakıldığında Doğu Karadeniz'in daha sıcak olduğu görülmektedir (Şekil 2.9). En düşük yıllık ortalama sıcaklık değerleri kuzeyde 9.9 °C (minimum -28 °C), en yüksek yıllık ortalama sıcaklıklar güneyde 14.5 °C (maksimum 40 °C) dir. Karadeniz'in yıllık ortalama rölatif nem oranı %70-80 arasındadır.

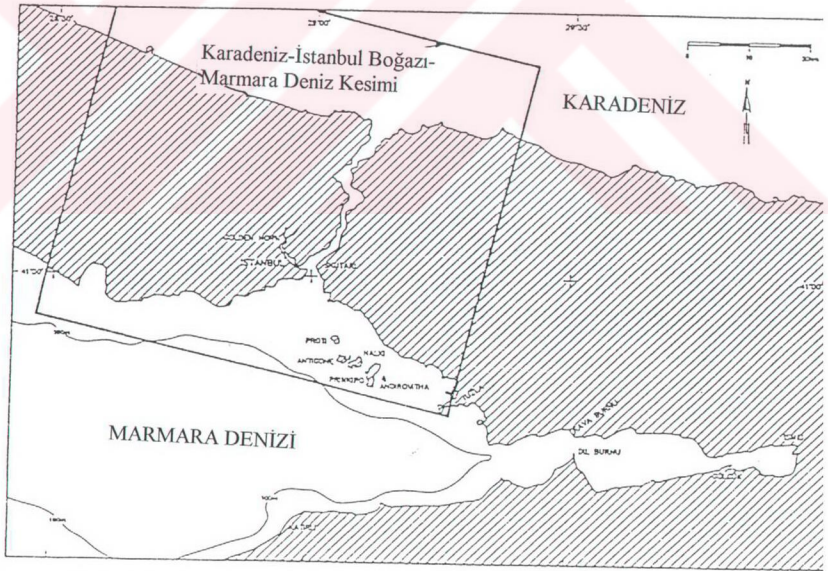
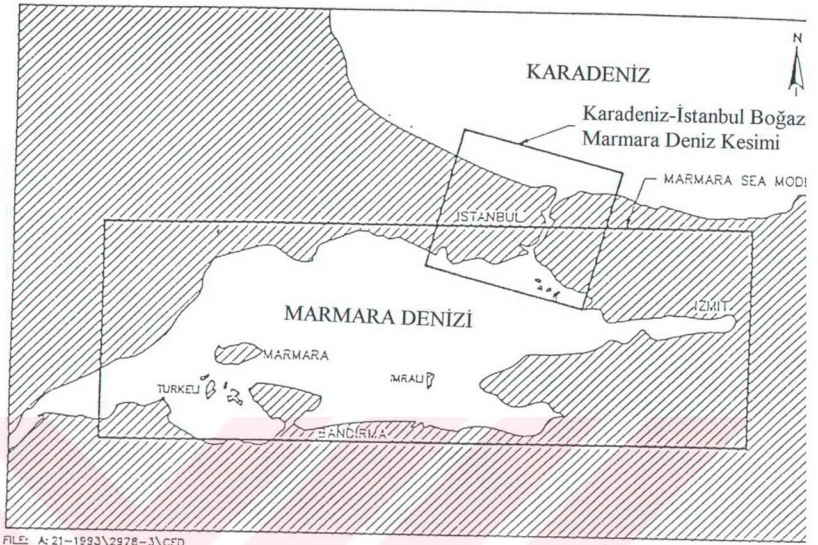
Şekil 2.10'da görüldüğü gibi Karadeniz'de yağışların dağılımı doğu ve batı kesimlerinde farklılık gösterir. Karadeniz'in güneydoğusunda bulunan Batum civarında karasal maksimum yıllık yağış yüksekliği 2500 mm'yi aşarken, minimum yıllık ortalama yağış yüksekliği kuzeybatıda (Tuna ağzı) 400 mm'nin altına düştüğü görülür.



Şekil 2.9. Karadeniz üzerinde hava sıcaklıkları dağılımı (İSKİ, 1997)



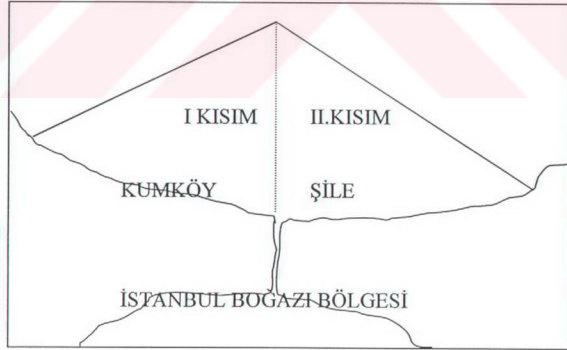
Şekil 2.10. Karadeniz üzerinde yağış dağılımı (İSKİ, 1997)



Şekil 2.11. Karadeniz-Marmara Kesimi ve Karadeniz-Boğaz Kesimi ile Bunların Birleşiminden Oluşan Karadeniz-Boğaz-Marmara Kesimi (ISKİ, 1997)

Karadeniz’de rüzgar yönünün çok değişken olduğu görülsede, büyük oranda kuzeyli rüzgarların etkin olduğu görülmektedir. Kış aylarında Karadeniz-Boğaz bölgesi kuzeyli rüzgarlar kadar güneyli rüzgarların da etkisi altındadır. Yaz aylarında ise kuzeyden esen zayıf rüzgarlar daha çok görülmektedir. Bahar aylarında rüzgar yönleri kararsızdır. Yıllık ortalama rüzgar hızı kıyı kesimlerinde ve Karadeniz-Boğaz bölgesinde 7 m/sn’yi aşmamaktadır. Türkiye kıyılarında en şiddetli rüzgar hızı 40 m/sn olarak görülmüştür.

İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışının batı kısmı ve Trakya sahillilerinin kuzeyini kapsayan bölge I. Kısım, Boğaz çıkışının doğu yakasındaki saha ise, II. Kısım olarak tanımlanarak her bir kısmın meteorolojik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Şekil 2.11’de meteorolojik incelemenin yapıldığı kısımların Karadeniz-Boğaz-Marmara Denizi bölgesindeki yeri gösterilmiştir. Meteorolojik veriler için kaynak olarak I. Kısım için Kumköy (Kilyos) ve II. kısım için Şile Meteorolojik alt bölgelerinden yararlanılmıştır. Şekil 2.12’de İstanbul Boğazı bölgesinde ölçüm yapılan I. Kısım ve II. Kısım alt bölgeleri gösterilmiştir. Bununla beraber Şekil 2.13’te rüzgarların estiği yönleri gösteren rüzgar gülü verilmiştir.



Şekil 2.12. Meteorolojik alt bölge



Şekil 2.13 Rüzgarlar gülü

I.Kısımda (Kumköy civarı) rüzgar, hava sıcaklığı, atmosferik basınç ve yağış için sırasıyla 19, 30, 20 ve 30 yıllık ortalamalar, II. Kısımda (Şile civarı) ise aynı parametreler için sırasıyla 14, 42, 20 ve 42 yıllık ortalamalar kullanılmıştır.

Bundan sonraki bölümde 1996 yılı içinde yapılan meteorolojik ölçümlerin değerlerinin ortalamaları verilmiştir.

#### 2.2.1.1. Rüzgar

Tablo 2.2 ve 2.3'te her iki bölgede ortalama rüzgar hızı değerleri incelendiğinde, yaz ve kış mevsimlerinin en yüksek ortalamaya sahip oldukları gözlenmektedir. Bölgede hakim rüzgarın kuzeydoğudan esen Poyraz olduğu görülmektedir.

Tablo 2.2 Güneybatı Karadeniz'in Mevsimsel Ortalama Rüzgar Hızı Dağılımı (knot)  
(İSKİ,1997)

| MEVSİMLER | KIŞ | İLKBAHAR | YAZ | SONBAHAR | YILLIK |
|-----------|-----|----------|-----|----------|--------|
| I. KISIM  | 11  | 9        | 11  | 9        | 10     |
| II. KISIM | 14  | 8        | 9   | 9        | 10     |

Tablo 2.3 Güneybatı Karadeniz'in Mevsimsel Ortalama Rüzgar Yön Dağılım Yüzdeleri (İSKİ, 1997)

| MEVSİMLER | K  | KD | D  | GD | G  | GB | B  | KB | SAKİN |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| KIŞ       |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
| I Kısım   | 28 | 28 | 13 | 12 | 04 | 03 | 03 | 04 | 05    |
| II. Kısım | 20 | 18 | 10 | 03 | 04 | 18 | 14 | 08 | 05    |
| ILKBAHAR  |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
| I Kısım   | 12 | 16 | 14 | 16 | 08 | 08 | 04 | 10 | 12    |
| II. Kısım | 16 | 15 | 08 | 04 | 18 | 16 | 06 | 07 | 10    |
| YAZ       |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
| I Kısım   | 10 | 52 | 20 | 03 | 03 | 02 | 04 | -  | 06    |
| II. Kısım | 16 | 50 | 12 | 01 | 02 | 01 | 02 | 08 | 08    |
| SONBAHAR  |    |    |    |    |    |    |    |    |       |
| I Kısım   | 18 | 54 | 10 | 02 | 03 | 02 | 05 | 04 | 02    |
| II. Kısım | 18 | 39 | 16 | 02 | 06 | 06 | 01 | 01 | 11    |

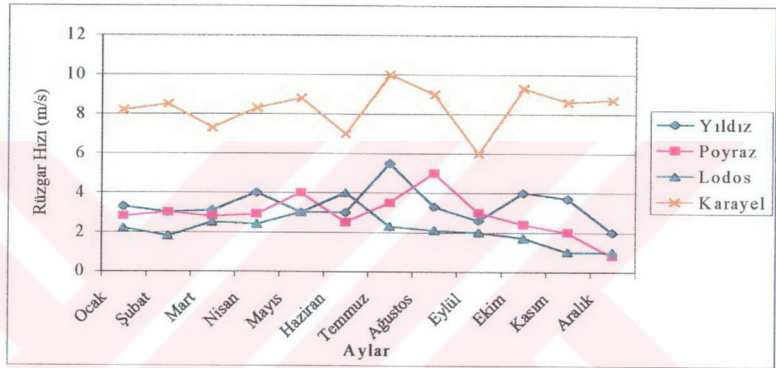
II.Kısımda genel olarak en şiddetli rüzgarların kış aylarında estiği gözlenmektedir. II.Kısımda rüzgarların yönlere göre mevsimsel dağılımı genelde I.Kısım ile benzer özellikler göstermektedir.

Tablo 2.4 I.Kısım için rüzgarların etkin olduğu aylar ve hız değerleri (İSKİ, 1997)

| RÜZGAR İSMİ | CİNSİ       | ETKİN OLDUĞU AYLAR | HIZ (m/sn) |
|-------------|-------------|--------------------|------------|
| Yıldız      | En kuvvetli | Temmuz             | 5          |
| Yıldız      | En düşük    | Eylül              | 2.3        |
| Poyraz      | En kuvvetli | Ağustos            | 5.3        |
| Poyraz      | Orta        | Mayıs              | 4.2        |
| Poyraz      | En düşük    | Aralık             | 2.3        |
| Karayel     | En kuvvetli | Temmuz             | 10.2       |
| Karayel     | En düşük    | Eylül              | 6          |
| Lodos       | En kuvvetli | Haziran            | 4.3        |
| Lodos       | En düşük    | Aylar              | 1          |

I.Kısımda rüzgar durumu incelendiğinde genellikle bu bölgede kuzey ve kuzeydoğu rüzgarlarının hakim olduğu görülür. Bu rüzgarların etkisi ile saat yelkovanının tersi yönünde (siklonik) yüzey akıntıları oluşmakta ve bu sirkülasyonlar büyük çaplı siklonik su

kütlesi hareketlerini etkilemektedir. Tablo 2.4’de I. Kısım için rüzgarların kuvvet derecelerine bağlı kalınarak aylara göre esme hızları verilmiştir. Şekil 2.14’de 1996 yılı içinde çeşitli yönlerden esen hakim rüzgarların aylara göre esme hızı değişimleri verilmiştir. Yıldız rüzgarının en yüksek esme hızı 5.3 m/sn ile ağustos ayında görülmüştür. Bunun yanında yıl içinde en düşük esme hızı 2.3 m/sn Eylül ayında gözlenmiştir.



Şekil 2.14 I.Kısımda Rüzgarların aylık ortalamaların hız dağılımı

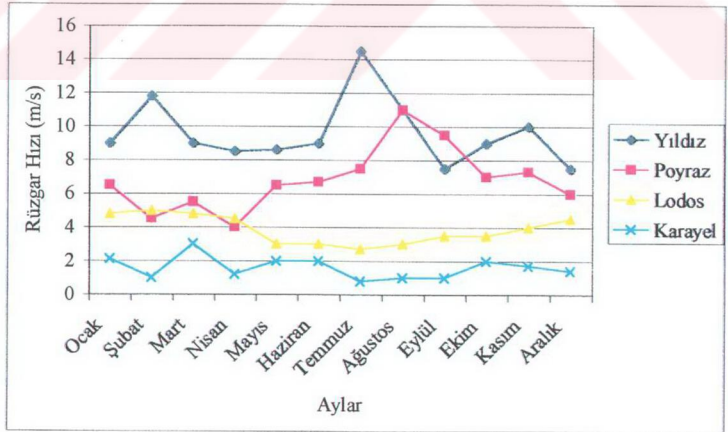
En düşük kuzeyli rüzgar, 2.3 m/sn esme hızıyla Eylül ayında gözlenmiştir. Poyraz rüzgarı Ağustos ayında 5.3 m/sn esme hızı ile en yüksek değere sahip olmuştur. Göreceli olarak, Mayıs ayında 4.2 m/sn’lik esme hızı ile ikinci en önemli esme periyodu gözlenmektedir. Poyraz rüzgarının en düşük estiği dönemler ise Mart, Haziran ve Aralık ayları olarak gözlenmiştir. Kuzeybatı yönünden esen Karayelin aylık ortalamalarının yıllık dağılımı incelendiğinde, rüzgar hızının aylık değerleri arasında çok büyük farklılığın olduğu görülmüştür. Karayel rüzgarları en şiddetli olarak Temmuz ve Ekim aylarında sırasıyla 10.2 m/sn ve 9.3 m/sn civarında esmiştir. Şekil 2.14’den de görüldüğü üzere en kuvvetli Lodos rüzgarı ise Haziran ayında ortalama 4.3 m/sn hıza ulaşmıştır. Diğer aylarda ise Lodosun ortalama esme hızı yaklaşık 2 m/sn civarındadır.

Tablo 2.5'de I.Kısımda rüzgarların en sık olarak estiği aylar verilmiştir. Bu bölgede Poyraz en sık olarak sonbaharda eserken, Yıldız en sık olarak sonbaharda esmektedir. Karayel ve Lodos ise bölgede en sık ilkbaharda estiği gözlenmiştir.

Tablo 2.5 I.Kısımda rüzgarların en sık olarak estiği aylar

| Rüzgar İsmi | Sıklık | Aylar    |
|-------------|--------|----------|
| Poyraz      | En Sık | Sonbahar |
| Yıldız      | En Sık | Sonbahar |
| Karayel     | En Sık | İlkbahar |
| Lodos       | En Sık | İlkbahar |

II.kısımda, genel olarak incelendiğinde özellikle Ocak ayında rüzgar, 6-8 m/sn ile en yüksek ortalamaya sahiptir. Rüzgarın en zayıf estiği Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında rüzgar şiddeti 4-6 m/sn'dir. Bölgenin rüzgar şiddeti yıllık ortalama rüzgar hızı yaklaşık 5 m/sn'dir. Kış aylarında ortalama 10-16 m/sn ile rüzgar hızı en yüksek değere ulaşmaktadır.



Şekil 2.15. II.Kısımda Rüzgarların aylık ortalamaların hız dağılımı (İSKİ, 1997)

Şekil 2.15'te etkin olan rüzgarların esme hızlarının aylara göre değişimi verilmiştir. Şekil 2.15'te Yıldız rüzgarının yıllık ortalama hız dağılımı incelendiğinde, Temmuz ayında 14. m/sn, Şubat ve Kasım aylarında ise sırasıyla 11.8 m/sn ve 10.5 m/sn ile ortalama esme hızına sahip olduğu görülmüştür. En yüksek Poyraz rüzgarın esme hızı

Temmuz ayında ve yaklaşık 11.3 m/sn'dir. En düşük ise Şubat ve Nisan aylarına yaklaşık 4.5 m/sn'dir. Bölgede en şiddetli Karayel rüzgarı Mart, Mayıs ve Ekim aylarına sırasıyla yaklaşık 3 m/sn, 2.2 m/sn ve 2 m/sn esme hızına sahiptir. En düşük şiddetli Karayel rüzgarının esme periyodu ise Temmuz-Eylül ayları arasındadır. Güney-batan esen rüzgarlar bölgede, en şiddetli olarak kış ve ilk bahar aylarında yaklaşık 5 m/sn'lik bir ortalama hızla eserken, yaz aylarında ise en düşük ortalama hızla 3 m/sn esme hızına sahiptir. Tablo 2.6'da II. Kısım için rüzgarların kuvvet derecelerine bağlı alacak ayları göre esme hızları verilmiştir.

Tablo 2.6 II. Kısım için rüzgarların etkin olduğu aylar ve hız değerleri (İSKİ, 1997)

| RÜZGAR İSMİ | CİNSİ       | ETKİN OLDUĞU AYLAR | HIZ (m/s) |
|-------------|-------------|--------------------|-----------|
| Yıldız      | En kuvvetli | Temmuz             | 14.5      |
| Yıldız      | En düşük    | Eylül              | 7.5       |
| Poyraz      | En kuvvetli | Temmuz             | 11.3      |
| Poyraz      | En düşük    | Şubat              | 4.5       |
| Karayel     | En kuvvetli | Mart               | 3         |
| Karayel     | En düşük    | Temmuz             | 2         |
| Lodos       | En kuvvetli | Ocak               | 5         |
| Lodos       | En düşük    | Temmuz             | 3         |

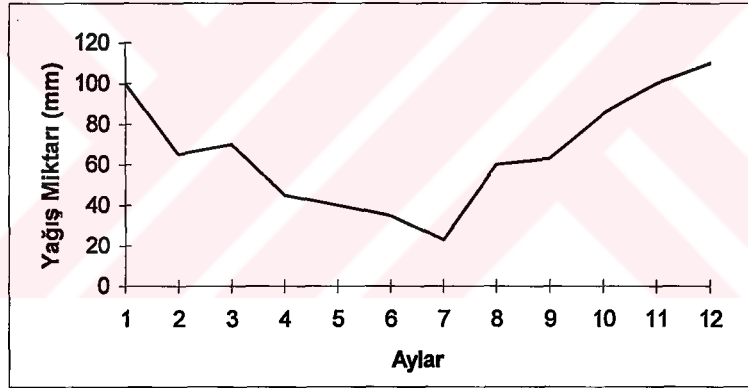
Tablo 2.7 II. Kısımda rüzgarların en sık olarak estiği mevsimler (İSKİ, 19)

| Rüzgar İsmi | Sıklık | Aylar         |
|-------------|--------|---------------|
| Poyraz      | En Sık | Yaz, Sonbahar |
| Yıldız      | En Sık | Kış, Sonbahar |
| Lodos       | En Sık | Kış, İlkbahar |
| Karayel     | En Sık | Yaz, Kış,     |

Bu bölgede kuzeydoğudan esen Poyraz rüzgarlar en sık olarak yaz ve sonbahar aylarında eserken Yıldız ise en sık kış ve sonbaharda esmektedirler. Lodos en sık kış ve ilkbaharda, Karayel ise yaz, kış ve ilkbaharda daha sık olarak esmektedir. Tablo 2.7’de II. Kısımda rüzgarların en sık olarak estiği aylar gösterilmiştir.

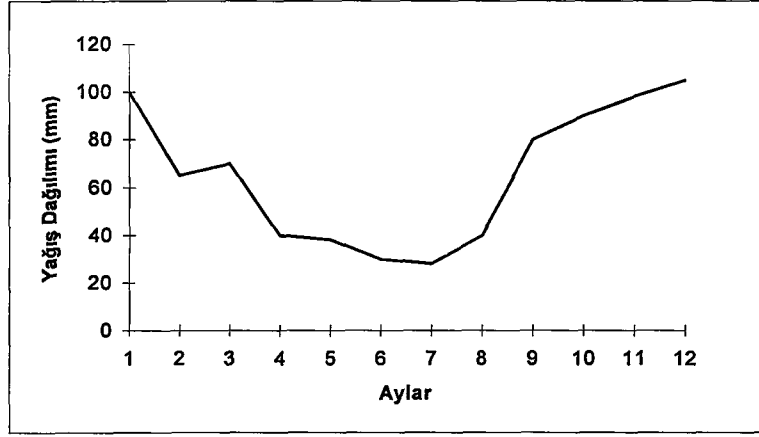
### 2.2.1.2.Yağış

İstanbul Boğazı bölgesinde yağış dağılımı 30 yıllık ortalamalar kullanılarak hesaplanmıştır. Her iki bölge için de yılda ortalama 725 mm civarında yağış düşmekte olup, bunun % 70’lik Ekim-Mart ayları arasında, %30’luk kısmında içeren Nisan–Ağustos aylarında gerçekleşmektedir (Şekil 2.16). I.Kısımda bölgenin yıllık ortalama yağış dağılımı incelendiğinde en düşük yağış ortalaması 22 mm ile Temmuz ayında, en düşük yağış ortalaması ise, 100 mm ile Aralık ve Ocak aylarında gözlenmektedir.



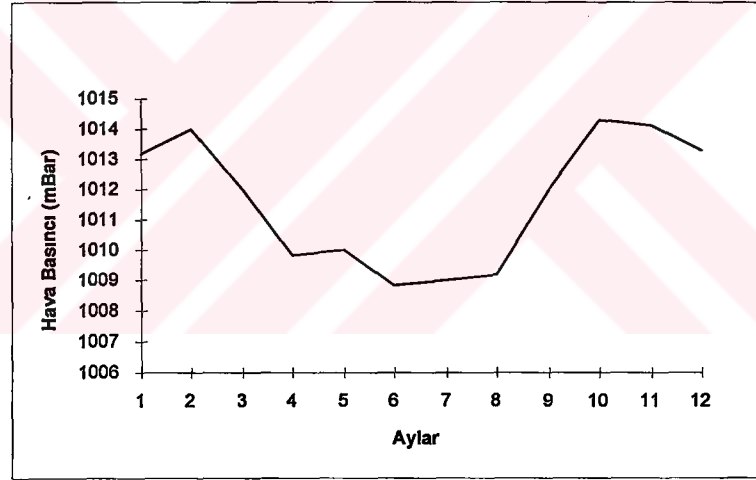
Şekil 2.16 I.Kısımda aylık ortalama yağış dağılımı (İSKİ, 1997)

II.Kısımda en yüksek aylık yağış miktarı, Aralık ve Ocak aylarında sırasıyla 110 mm ve 100 mm olarak görülmektedir. II.Kısımda en düşük yağış miktarı yaz aylarında gözlenmiştir. Temmuz ayında 24 mm’lik aylık ortalama ile en düşük yağış değerini almaktadır. Şile civarında da yağışların büyük bir kısmının Eylül-Mart ayları arasında düştüğü Şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17 II.Kısımda aylık ortalama yağış dağılımı (İSKİ, 1997)

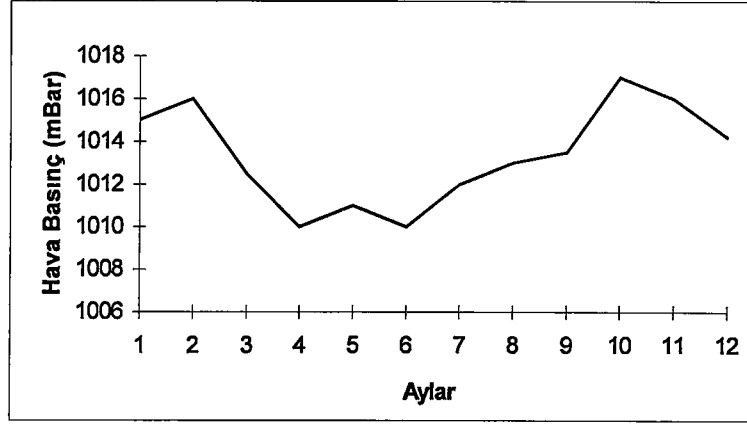
### 2.2.1.3. Atmosferik basınç



Şekil 2.18 I. Kısımda aylık ortalama basınç dağılımı (İSKİ, 1997)

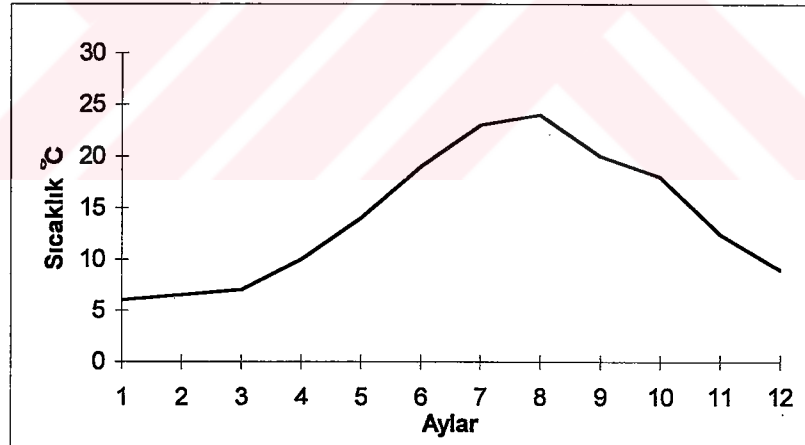
I. Kısımda atmosferik basınç değerleri genelde 1008 ile 1014 mbar arasında değişmektedir. Yıl içerisinde en yüksek basınç değeri Şubat ve Ekim aylarında 1014 mbar, en düşük basınç değerine ise yaz aylarında 1008 mbar olarak görülmüştür. Yıllık ortalama atmosferik basınç değeri 1012 mbar civarındadır (Şekil 2.18).

II. Kısımda atmosferik basınç, Şubat ve Ekim aylarında en yüksek ortalamalar ile sırasıyla 1016 ve 1017 mbar ortalama değerlerine ulaşmakta, Nisan-Haziran periyodunda ise 1011 mbar'lık ortalamayla minimum değere inmektedir (Şekil.2.19)



Şekil 2.19 II.Kısımda aylık ortalama basınç dağılımı (İSKİ, 1997)

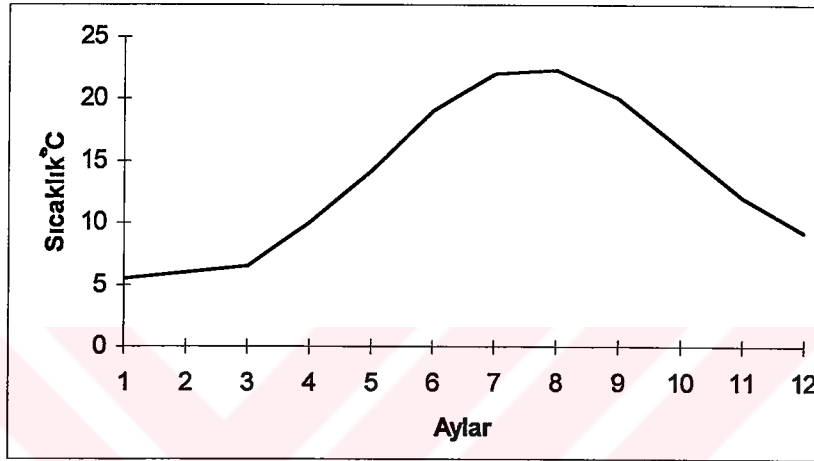
#### 2.2.1.4. Hava sıcaklığı



Şekil 2.20 I.Kısımda aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı (İSKİ, 1997)

I..Kısımda bölgenin ortalama hava sıcaklığı dağılımı Şekil 2.20’de verilmiştir. Hava sıcaklığı ilkbaharla birlikte artarak, Ağustos ayında 23<sup>0</sup>C en yüksek ortalama değerine ulaşmaktadır. Hava sıcaklığı kış aylarında ortalama 6 <sup>0</sup>C ile en düşük ortalama değerini almaktadır.

Şekil 2.21’de II.Kısım aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı incelendiğinde, I. bölgenin dağılımıyla aynı olduğu gözlenir. Hava sıcaklıkları Mart ayından itibaren yavaşça artarak, Temmuz-Ağustos aylarında en yüksek değerine ( $23^{\circ}\text{C}$ ) erişmekte ve sonra tekrar azalarak, kış aylarında en düşük değere ( $5.5^{\circ}\text{C}$ ) inmektedir. Hava sıcaklığı kışın ortalama  $5^{\circ}\text{C}$ , yazın  $25^{\circ}\text{C}$  civarında gerçekleşirken, bunlara bağlı olarak deniz suyu sıcaklığı ise  $4-25^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir.



Şekil 2.21 II.Kısımda aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı (İSKİ, 1997)

### 2.3. İstanbul Boğazı’nın Hidrolik Yapısı

İstanbul Boğazı akım sistemi, Karadeniz ile Marmara arasındaki seviye farkıyla ve bu iki deniz suları arasındaki yoğunluk farkından oluşmaktadır. Ayrıca, akıntı sistemi üzerinde değişik yönlerden esen rüzgarların, atmosfer basıncının ve boğaz geometrisinin de etkisi bulunmaktadır.

İstanbul Boğazı’ndaki akıntıların hızları, boğazın morfolojik yapısına, Karadeniz havzasının su bütçesine, bağlantılı denizlerin seviyesine ve atmosfer koşullarına göre önemli ölçüde değişmektedir. Yukarıda sayılan bu unsurlardan biri olan morfolojik yapı, akıntı hızlarının konumuna, diğer etkenlerde ise zamana göre değişimini yönlendirmektedir. Kısa süreli değişimler ise atmosferik koşullara bağlı olarak oluşmaktadır.

İstanbul Boğazı'ndaki üst ve alt akıntılarının analizi için Anadolu Kavağı, Paşabahçe, Baltalimanı, Küçüksu, Kızkulesi ve Sarayburnu'nda çeşitli derinliklere yerleştirilen akıntı ölçerlerin kayıtlarından yararlanılmıştır. Üst ve alt tabaka için verilen ortalama hız değerleri arayüzeye yakın olmayan, dolayısıyla sürekli olarak sadece alt veya üst tabaka için kalan akıntı ölçerlerin kaydettiği verilerin aritmetik ortalamasını alarak hesaplanmıştır (Arısoy, 1995).

Elde edilen verilere göre, İstanbul Boğazı'nın kuzey kesiminde 0.40-0.50 m/sn mertebelerinde olan üst tabaka akıntı hızları, Baltalimanı-Kanlıca'dan itibaren güneye doğru 2-3 km'lik dar bölgede 0.80-0.90 m/sn değerlerine ulaşmaktadır. En kesit özelliklerine bağlı olarak İstanbul Boğazı boyunca akıntı hızları da değişmekle beraber, çeşitli kesimlerdeki akıntı hızları dikkate alındığında üst tabakanın 0.50-0.60 m/sn, alt tabakanın 0.40-0.50 m/sn ortalama hızlarına sahip oldukları görülmektedir. Su girdilerinin fazlalığı kış sonu-ilkbahar başlangıcı döneminde Karadeniz su seviyesindeki artışla birlikte üst tabaka akıntıları artmaktadır. Baltalimanı'nda 1.5 m/sn, Kızkulesi'nde bu değeri aşan hızlar görülmektedir (Arısoy, 1995).

İstanbul Boğazı'nın her iki ucunda yer alan Marmara Denizi ve Karadeniz'in seviyeleri boğazdaki akım sistemini doğrudan etkileyen unsurların başında gelmektedir. Her iki deniz seviyesi de alt ve üst tabaka akıntılarını etkilemektedir. Ancak, Karadeniz ve Marmara Deniz seviyelerindeki farkın alt ve üst tabaka akıntı hızlarına etkileri farklıdır. Karadeniz su seviyesindeki artış boğazda serbest su yüzeyi eğimini artırmakta, dolayısıyla üst tabaka akıntıları hızlanmaktadır. Bu durumun tersi olarak, Marmara Deniz seviyesindeki yükselme alt akıntılarının hızlanmasına yol açmaktadır. Baltalimanı üst ve alt tabaka akıntı hızlarının her iki deniz seviye farkıyla değişimi yukarıda açıklanan bu ilişkiyi net bir şekilde göstermektedir.

Karadeniz ve Marmara Denizi seviyelerinin akıntı hızları üzerine etkilerinin ters yönde oluşu nedeniyle, her iki deniz seviyesi yerine, seviye farkının akıntı sistemi üzerine etkisinin araştırılması daha tutarlı olmaktadır. Bu nedenle, İstanbul Boğazı'ndaki akım sistemi için geliştirilen birçok modelde seviye farkı temel değişkenlerin başında gelmektedir. Çeşitli yayınlarda seviye farkı için gözlemlere veya tahminlere dayanan

çeşitli değerler yer almaktadır. Son yayınlarda seviye farkı için kabul edilen değerler 30-40 cm mertebesinde. Gunnerson ve Özturgut (1981) 35 cm, Çeçen vd.(1981) 33 cm De Filippi vd. (1986) ise 37 cm değerini öngörmektedirler. Ayrıca serbest su yüzeyi eğiminin İstanbul Boğazı boyunca doğrusal değişmediği, güneye gidildikçe daha da arttığı belirtilmektedir.

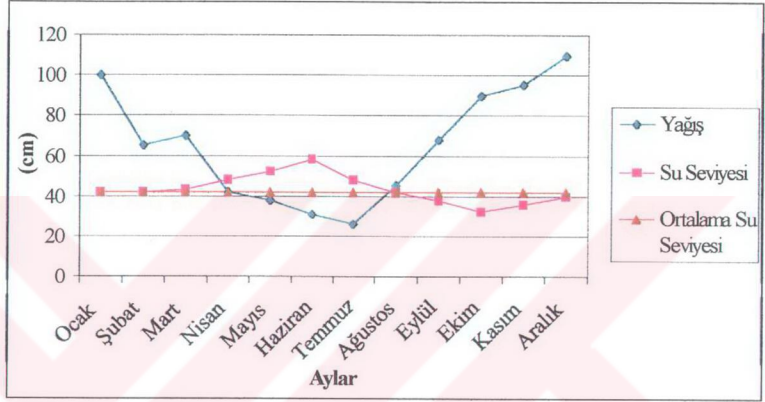
Karadeniz’de gel-git etkisi pek hissedilmez. Buna karşın Karadeniz’de su seviyesi değişimleri esas olarak tatlı su girişine bağlıdır. Karadeniz’de gel-git olayından dolayı deniz seviye değişim aralığı 2-10 cm arasında olduğu, bundan dolayı gel-git nedeniyle oluşan seviye değişikliğinin yaklaşık 10 cm’yi geçmediği kabul edilir.

Arısoy (1990), 2 Ağustos 1985-24 Eylül 1986 dönemlerinde seviye farkının ortalamasını 30 cm, standart sapmasını ise 14 cm olarak hesaplamıştır. Bu sürede, seviye farkında 77 cm’ye varan değerler yanında -5 cm’ye kadar düşen değerlerde yer almaktadır. Seviye farkının 6 Şubat-7 Mayıs 1986 tarihleri için ortalama değerleri yaklaşık 35 cm’dir (Arısoy, 1995).

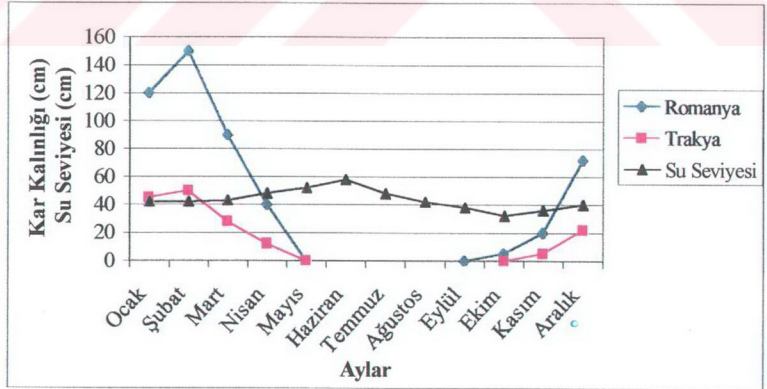
Mart 1986 tarihinde uzun süreli bir artış gözlenmiştir. 24 Şubat-25 Mart 1986 tarihleri için seviye farkı ortalaması 55 cm’dir. Bu duruma, Doğu Karadeniz üzerindeki bir yüksek basınç merkezlerinin uzun süreli hakimiyeti nedeniyle İstanbul Boğazı girişinde suların kabarmasının yol açması olasıdır.

Bölgenin aylık ortalama yağış miktarı ile su seviyesi değişimleri karşılaştırıldığında, yağış ile su seviyesi ilişkisinde maksimumlar arasında altı, minimumlar arasında ise yaklaşık üç aylık bir faz farkı olduğu görülür. Şekil 2.22’de yıl içersinde en düşük ortalama yağış miktarı Nisan-Ağustos ayları arasında gözlenirken, bu periyotta su seviyesinin Karadeniz lehine en yüksek değerini aldığı görülmektedir. Bölgede en yüksek yağış oranları, sonbahar ve kış aylarında oluşurken, bu aralıkta su seviyesi değişimleri Karadeniz lehine en düşük değerini almaktadır. Bu durum bize, bölgeye önemli miktarda su taşıyan akarsuların, ilkbahar ve yaz başlangıcı aylarda karların erimesi ve buzların çözülmesi ile yüksek oranda tatlı su taşıyarak, su seviyesinin Karadeniz lehine yükseldiğini göstermektedir (Şekil 2.23). Sonbahar ve kış aylarında Karadeniz’in genelinde su

seviyesinin minimum olması da, bu görüşü desteklemektedir. Şekil 2.22 ve Şekil 2.23 birlikte incelendiğinde, kar kalınlığının ilkbahar sonu yaz aylarında erimeler nedeniyle minimum, Karadeniz su seviyesinin ise aynı aylarda en yüksek olduğu gözlenmektedir.

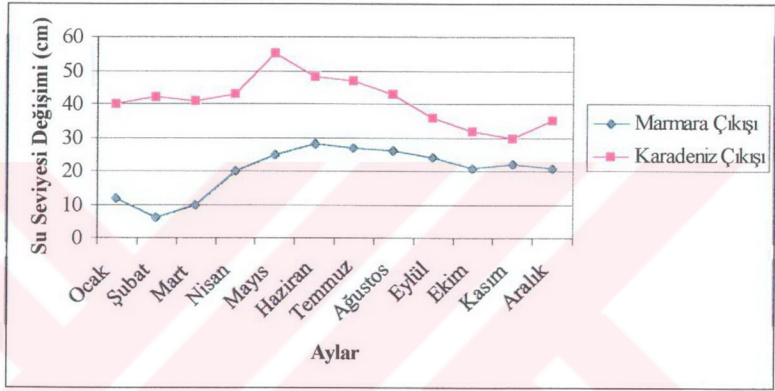


Şekil 2.22 Karadeniz'de yağış ve su seviyesinin yıl içinde değişimi (İSKİ, 1997)



Şekil 2.23 Karadeniz kıyılarında kar kalınlıkları ve su seviyesinin yıl içinde değişimi (İSKİ, 1997)

Buna karşılık kış aylarında, kar örtüsünün kalınlığı artarken, akarsuların akış miktarı azalmakta ve sonuç olarak Karadeniz su seviyesinde Marmara Denizi'ne nazaran düşüş gözlenmektedir. Şekil 2.24'te Karadeniz ve Marmara Denizi'nde yapılan ölçümlerden de açıkça görülmektedir (İSKİ, 1997).



Şekil 2.24 Karadeniz ve Marmara Denizi'nde aylık su seviyesi değişimi (İSKİ, 1997)

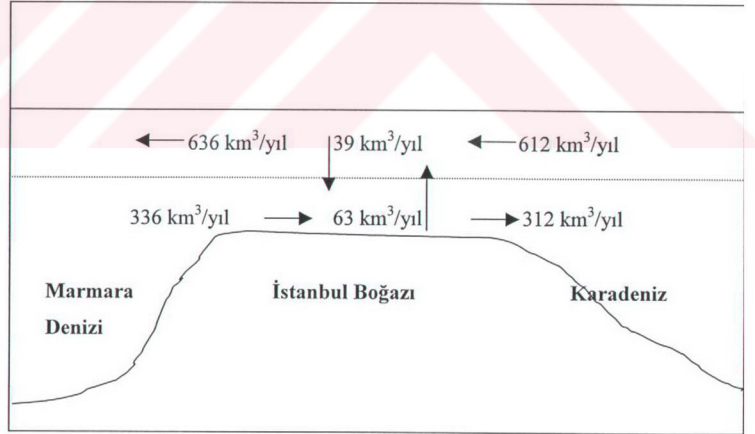
#### 2.4. İstanbul Boğazı'ndaki Su Dengesi ve Karışımı

Boğaz boyunca Karadeniz'den Marmara'ya üst akım ile Marmara'dan Karadeniz'e ulaşan alt akım yıllık ortalama debileri Tablo 2.8'de özetlenmiştir. Ayrıca DHI (1993) tarafından geliştirilen 3 boyutlu modelde (3D) kullanılan debiler de verilmiştir.

Boğazlar sistemi Çanakkale, Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'ndan oluşur. İstanbul Boğazı'nda yapılan çalışmalar sonucunda akım boyunca alt ve üst tabakadan birbirine geçişin olduğu belirlenmiştir. Burada, kararlı haldeki akım tuzlu ve kütle korunum formülleri kullanılarak hesaplanmıştır. 1986-1987 yılı boyunca devam eden son ölçümler boğaz sisteminde ortalama tuzluluk değeri için kullanılır. İki tabakalı kararlı akım modeli basit bir şekilde ifadesi Oğuz (1990) tarafından tanımlanmıştır. İstanbul Boğazının iç hidrolik dengesinin özeti Şekil 2.25'de gösterilmiştir.

Tablo 2.8 Boğaziçi'ndeki yıllık su debisi tahminleri (İSKİ, 1997)

|                                                    | Marmaraya Giden<br>Yüzey akım |                   | Karadeniz'e<br>Giden Alt Akım |                   | Güneye Doğ<br>Giden Net Akı |                   |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
|                                                    | km <sup>3</sup> /yıl          | m <sup>3</sup> /s | km <sup>3</sup> /yıl          | m <sup>3</sup> /s | km <sup>3</sup> /yıl        | m <sup>3</sup> /s |
| Möller (1931)<br>(Akıntı gözlem 1917)              | 398                           | 12600             | 193                           | 6100              | 205                         | 6500              |
| Özturgut (1917)<br>(Karadeniz'deki su tuz dengesi) | 548                           | 17400             | 249                           | 7900              | 300                         | 9500              |
| Sümer (1981/87)<br>(İki tabaka modeli)             | 620                           | 19700             | 230                           | 7300              | 390                         | 12400             |
| ODTÜ (1990)<br>(İki tabaka modeli)                 | 670                           | 21300             | 170                           | 5500              | 500                         | 15000             |
| Orhon (1993)<br>(ÖDTÜ Model)                       | 600                           | 19100             | 262                           | 8400              | 340                         | 10700             |
| ÖEJV (DHI, 1993)                                   | 600                           | 19100             | 303                           | 9600              | 300                         | 9500              |



Şekil 2.25 Karadeniz Marmara Denizi arasında su alışverişi

- İstanbul-Marmara Denizi arasında Karadeniz suyu %1.78 tuzluluk, 612 km<sup>3</sup>/yıl debi ile boğaza girer ve %1.94 tuzluluk ile ve 636 km<sup>3</sup>/yıl debi ile boğazdan çıkar.
- Akdeniz suyu % 3.67 tuzluluk ve 336 km<sup>3</sup>/yıl debi ile boğaza girer ve % 3.49 ve 312 km<sup>3</sup>/yıl debi ile Karadeniz'e ulaşır.
- Boğaz boyunca, deniz suyu alt tabakan üst tabakaya geçen su miktarı 63 km<sup>3</sup>/yıl üst tabakadan alt tabakaya 39 km<sup>3</sup>/yıl su geçişi olmaktadır. Diğer bir kelime ile boğaz geçişi boyunca alt tabakadan üst tabakaya 24 km<sup>3</sup>/yıl net su girişi vardır (Oğuz vd.1990).

Oğuzun (1990) Boğaz boyunca karışım modeli bağlantısı sonuçları şöyledir;

- Üst tabaka akım kritik bölgede kuzey tabaka kontrolünün aşağıya doğru akışı alt tabakaya geçer. Boğazdan alt akım çıkışı artar ve Karadeniz suyu geriye doğru akar.
- Alt akımı oluşturan Marmara denizinin tuzluluğu % 3.8 değerinde olup, % 0.4-5 miktarında azalır. Boğaz Marmara bölgesi içine doğru genişlese de, buna rağmen çok önemli değişim gözlenir. Batı Marmara bölgesinden boğaza doğru alt tabaka akım girişinin bir miktarı bu bölgedeki üst tabakadan olur. Üst tabakanın Karadeniz sonunda ortalama tuzluluk %1.8 olan bu değer Marmara girişinde % 2.3-2.5 değerine ulaşır (Oğuz vd., 1990).

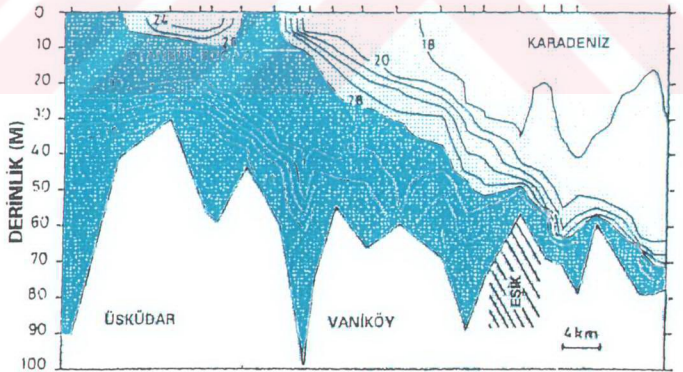
## 2.5. İstanbul Boğazı'nda Alt Tabaka Akımının Bloklanması

İstanbul Boğazı'nda alt tabaka akımı atmosferik ve diğer sebeplerin etkisi ile üst tabaka akımı tarafından bloklanır. Bu olay gerçekleştiğinde alt tabaka akımına deşarj edilen atıksu Karadeniz'e taşınmadan üst tabaka akımı ile karışacak ve Marmara Denizine geri dönecektir. Bu olayın meydana gelmesi deşarj edilen atıksuların seyrelerek Karadeniz'e taşınacağı görüşüne olumsuz yönde desteklenmektedir. Karadeniz ve Akdeniz menşeli Marmara Denizi sularının bloklanması Şekil 2.26 ve Şekil 2.27'de gösterilmiştir.

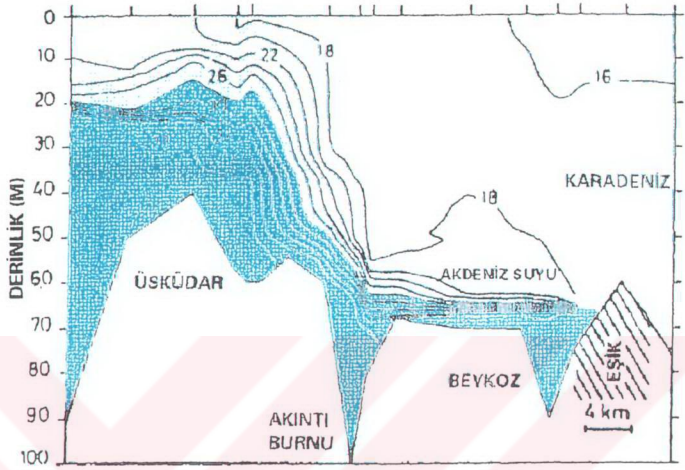
Akyarlı ve Arısoy (1994) akış durumu ile bloklanma olayını mevcut bilimsel çalışmalara bağlı kalarak başlıklar şeklinde şöyle açıklamıştır.

- Anadolu kavağında ölçülmüş alt tabakadaki deniz seviye farkı ile akım hızının simülasyonundan yararlanılarak regrasyon eğrisi çizilmiştir. Bloklanma olayı, Karadeniz ile Marmara denizi seviye farkı 50 cm den fazla olduğunda meydana gelir.
- Üst tabaka ve alt tabaka akımlarının hızları arasında benzer analizler üst tabaka akımının akış hızı 55-60 cm/sn den fazla olduğunda alt tabaka akımının durduğu gözlenmiştir.
- Anadolu kavağında alt tabaka akıntı ölçeri, deniz tabanının 2-12 m arasında yerleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre akıntının %15'nin tekrar Marmara'ya doğru geri döndüğü görülmüştür.

Bloklanma olayının diğer bir önemi devamlı olmasıdır. Deniz seviyesi farklarının değişimi ve akıntı hızlarındaki değişimi kısa zaman aralıklarında olduğu görülmüştür. Bu çalışmalar sonunda, bloklama akım periyodu sırasında bloklama olayı boyunca kuzey girişinde büyük bir akışın olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 2.26 Karadeniz yüzey suyunun İstanbul Boğazı'nda tersienmesi (Latif vd., 1990)



Şekil 2.27 Akdeniz suyunun Güneybatı Karadeniz’de terslenmesi (Latif vd., 1990)

### 3. SU ORTAMINDA BULUNAN KİRLETİCİ MADDELERİN BOZUNMASI

#### 3.1. Su Ortamını Kirleten Çeşitli Kirletici Kaynaklar

Su ortamına verilen kirletici maddelerin bozunmaları sonucu su kalitesi değişir. Kirletici faaliyetler alıcı ortama verilen atıksular, şehir veya arazi yağmur suyu deşarjı, deniz kazaları sonucu meydana gelen kirlenmeler şeklinde sıralanabilir. Değişik kirletici kaynakları su ortamının kalitesini farklı derece etkiler. Atıksu deşarj edilmeden önce alıcı ortamının su kalitesinin bilinmesi gerekmektedir. Bu işlemler yapıldığında su ortamın kirlenmesi kontrol edilmiş olacaktır. Su kalitesinin değerlendirilmesi için kirletici kaynakların hangi parametreler ile ilişkili olduğu Tablo 3.1 da verilmiştir (Chapman, 1996).

##### 3.1.1. Evsel atıksuların etkisi

Evsel atıksular, kanalizasyon, yağmursuyu oluşur. Bunlar yüksek seviyede fekal ve organik madde içerir. Bu tip atıksuların alıcı ortamlara etkilerinin değerlendirilmesinde organik maddeler ve nütrientler önem taşır. Evsel nitelikli atıksularda fekal önemli bir belirleyici parametredir. Endüstri atıksuyu içeren evsel atıksular endüstriyel orijinli çeşitli organik ve inorganik kirleticiler içerir.

##### 3.1.2. Şehir yağmur suyu drenajının etkisi

Şehirlerde düzenli yağmur suyu toplama sistemleri inşaa edilir. Yağmur suyu kanalizasyon sistemi ile beraber toplandığı gibi ayrı da toplanır. Bu atıksular nehir veya göllere arıtma yapıldıktan sonra deşarj edilir. Bazı şehirlerde, yağmur suyu alıcı ortama direk deşarj edilir. Petrol üretiminin ve ağır metal sanayisinin olduğu bölgelerde yağmursuyu deşarjının yapıldığı alıcı ortamlarda su kalitesi açısından önemli sorunlar yaşanmaktadır. Yağmur suyu bu bölgeden getirdiği kirleticileri su ortamına taşımaktadır. Normalde yağmur suyunun kirlilik yükünün düşük olduğu düşünüldüğünde bu taşınım önemli bir problem oluşturur.

### 3.1.3. Zirai faaliyetler

Zirai faaliyetlerin etkileri organik ve inorganik maddelerden kaynaklanır. Bu kirlenme gübreleme ve pestisit kullanımı sonucu meydana gelir. İletkenlik, klor, alkalinite, sülfat, florür, sodyum bu alanda su kalitesi değerlendirmede önemli yere sahiptir. Zirai faaliyetlerden etkilenen bölgelerde su kalitesi izleme programında incelenecek parametreler Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Endüstriyel Olmayan Kirlenme Kaynaklarında Su Kalitesinin Değerlendirilmesinde Çeşitli Bölümler (Chapman, 1996)

|                         |                              |                         |               | Araziye Atık Depolanması |                   |                     |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|-------------------|---------------------|
|                         | Kanalizasyon ve evsel atıksu | Şehir evsel yağmur suyu | Zirai Çalışma | Evsel Çöpler             | Tehlikeli Atıklar | Atmosferik Transfer |
| <b>Genel Özellikler</b> |                              |                         |               |                          |                   |                     |
| Sıcaklık                | x                            | x                       | x             |                          |                   |                     |
| Renk                    | x                            | x                       | x             | x                        |                   |                     |
| Koku                    | x                            | x                       | x             |                          |                   |                     |
| Kalıntılar              | x                            | x                       | xxx           | xxx                      | xx                |                     |
| Askıda madde            | xxx                          | xx                      | xxx           | xx                       | xx                |                     |
| İletkenlik              | xx                           | xx                      | xx            | xxx                      | xxx               | xxx                 |
| Alkalinite              |                              |                         |               | xx                       |                   | xxx                 |
| pH                      | x                            | x                       | x             | xx                       | xxx               | xxx                 |
| Eh                      | x                            | x                       | x             |                          |                   |                     |
| Çözünmüş Oksijen        | xxx                          | xxx                     | xxx           | xxx                      | xxx               |                     |
| Sertlik                 | x                            | x                       | x             |                          | x                 | x                   |
| <b>Nütrientler</b>      |                              |                         |               |                          |                   |                     |
| Amonyak                 | xxx                          | xx                      | xxx           | xx                       |                   |                     |
| Nitrat/Nitrit           | xxx                          | xx                      | xxx           | xx                       |                   | xxx                 |
| Organik Azot            | xxx                          | xx                      | xxx           | xx                       |                   |                     |
| Fosforlu Bileşikler     | xxx                          | xx                      | xxx           | x                        |                   | x                   |
| <b>Organik Madde</b>    |                              |                         |               |                          |                   |                     |
| TOK                     | x                            | x                       | x             |                          |                   |                     |
| KOİ                     | xx                           | xx                      | x             | xxx                      | xxx               |                     |
| BOİ                     | xxx                          | xx                      | xxx           | xxx                      | xx                |                     |
| <b>Başlıca İyonlar</b>  |                              |                         |               |                          |                   |                     |
| Sodyum                  | xx                           | xx                      | xx            |                          |                   |                     |
| Potasyum                | x                            | x                       | x             |                          |                   |                     |
| Kalsiyum                | x                            | x                       | x             |                          |                   |                     |

|                                      |                                    |                         |                  | Araziye Atık Depolanması |                      |                        |
|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
|                                      | Kanalizasyon<br>ve evsel<br>atıksu | Şehir<br>yağmur<br>suyu | Zirai<br>Çalışma | Evsel<br>Çöpler          | Tehlikeli<br>Atıklar | Atmosferik<br>Transfer |
| Mağnezyum                            |                                    |                         |                  |                          |                      |                        |
| Karbonat Bileşikleri                 |                                    |                         |                  | x                        |                      |                        |
| Klor                                 | xxx                                | xx                      | xxx              | xx                       | xx                   |                        |
| Sülfat                               | x                                  | x                       | x                |                          |                      | xxx                    |
| <b>Diğer İnorganik Maddeler</b>      |                                    |                         |                  |                          |                      |                        |
| Sülfid                               | xx                                 | xx                      | x                |                          | x                    |                        |
| Silica                               | x                                  | x                       |                  |                          |                      |                        |
| Florür                               | x                                  | x                       |                  |                          |                      |                        |
| Boron                                |                                    |                         | x                |                          |                      |                        |
| <b>İz Elementler</b>                 |                                    |                         |                  |                          |                      |                        |
| Aluminyum                            |                                    |                         |                  |                          |                      | xx                     |
| Kadmiyum                             |                                    | x                       |                  | xxx                      | xxx                  | x                      |
| Krom                                 |                                    | x                       |                  | xxx                      | xx                   | x                      |
| Bakır                                | x                                  | x                       | xx               | xxx                      | xx                   | x                      |
| Demir                                | xx                                 | xx                      |                  | xxx                      | xx                   | x                      |
| Kurşun                               | xx                                 | xxx                     |                  | xxx                      | xx                   | xx                     |
| Civa                                 | x                                  | x                       | xxx              | xxx                      | xxx                  |                        |
| Çinko                                |                                    | x                       | xx               | xxx                      | xx                   | x                      |
| Arsenik                              |                                    | x                       | xxx              | xx                       | xxx                  | x                      |
| Selenyum                             |                                    | x                       | xxx              | x                        | x                    |                        |
| <b>Organik Kirleticiler</b>          |                                    |                         |                  |                          |                      |                        |
| Canlı Artıkları                      | x                                  | x                       |                  |                          |                      |                        |
| Yağ ve<br>Hidrokarbonlar             | xx                                 | xxx                     |                  | xx                       | x                    |                        |
| Organik Bileşikler                   | x                                  | x                       |                  | xxx                      | xxx                  |                        |
| Metan                                |                                    |                         |                  | xxx                      |                      |                        |
| Fenol                                | x                                  |                         | xx               | xx                       |                      |                        |
| Pestisitler                          |                                    | x                       | xxx              | xx                       | xxx                  | xxx                    |
| Deterjanlar                          | xx                                 |                         | x                |                          | x                    |                        |
| <b>Mikrobiyolojik Belirleyiciler</b> |                                    |                         |                  |                          |                      |                        |
| Fekal Koliform                       | xxx                                | xx                      | xx               | xxx                      |                      |                        |
| Patojenler                           | xxx                                | xx                      | xxx              |                          |                      |                        |

x-xxx : En düşükten en yüksek konsantrasyonlara kadar izleme programında önem derecesini gösterir.

### 3.1.4. Evsel ve tehlikeli atık depolama alanlarının etkisi

Bir çok gelişmiş ülkede, evsel katı atıklar, projelendirilmesi yapılmış arazilere depolanır. Endüstri kaynaklı zararlı atık depolarından çevreye toksik maddeler sızar. Bu sızıntıları önlemek için dışardan gelecek olumsuz etkilere dayanıklı sızdırmaz tabakalar yapılmalıdır. Depolama bölgeleri iyi planlanmaz ve taban sızdırmazlıkları kontrol edilmez ise sızıntı suları bu bölgedeki yeraltı suyunda kirlenme meydana gelir. Sızıntı suları, araziye depolanan maddelere bağlı olarak patojen, ağır metaller ve organik kimyasallar gibi bir çok kirlenici madde içerir. Evsel katı atıklardan sızan su bozunabilir organik madde bakımından zengindir.

### 3.1.5. Atmosferik kirlenici kaynakların etkisi

Asidik kaynaklı atmosferik kirleniciler su ortamına girdiğinde alkaliniteyi ve pH düşer. Göllerde su kalitesi değerlendirme programlarında alkalinite, pH, sülfat, ve nitrat incelenir. Atmosferik değerlendirme yerel ve bölgesel emisyon kaynaklarına bağlı olarak kirlenici parametreler için değerlendirilir. Geniş atmosferik dağılım taşınımı sonucunda kurşun, kadmiyum, arsenik, bozunmayan pestisitler ve diğer organik bileşiklerin değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu tip ağır metaller su ortamında toksik etki meydana getirir ve su canlılarında birikim yapar.

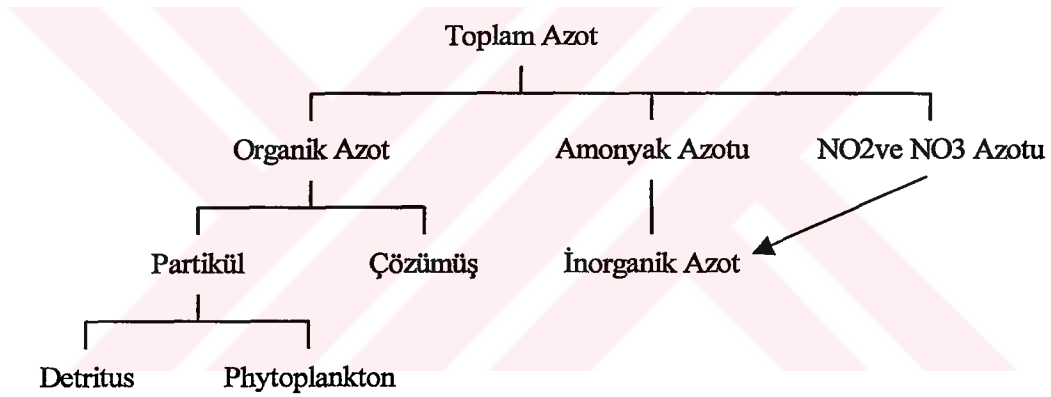
## 3.2. Su Kalitesini Etkileyen Temel Besi Maddeleri

### 3.2.1. Su ortamında azot dengesi

Azot, yeni hücre oluşumunda kullanılan temel besin maddesidir. Bitki ve mikroorganizmalar inorganik azotu organik forma dönüştürür. İnorganik azot, oksidasyon kademesine bağlı olarak  $\text{NO}_3^-$  ve  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_3^+$  ve moleküler azot, azot çevriminin parçası olarak ortamda biyolojik ve biyolojik olmayan dönüşümlere uğrar. Başlıca biyolojik olmayan prosesler buharlaşma, sorpsiyon ve çökelmeyi içermektedir. Biyolojik dönüşüm sırayla aşağıda belirtildiği gibidir.

1. İnorganik formdaki amonyak ve nitratin bitkiler ve mikroorganizmalar tarafından organik azot formuna dönüştürülür. (örneğin; amino asitler)
2. Mikroorganizmalar azot gazını, amonyak ve organik azota dönüştürür.
3. Amonyakın,  $\text{NO}_3^-$  ve  $\text{NO}_2^-$ 'te oksidasyonu.
4. Organik maddelerin bozunması sonucu oluşan azotun organik azota dönüşmesi
5. Anoksik şartlarda  $\text{NO}_3^-$ , azot oksit ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ve moleküler azota ( $\text{N}_2$ ) bakteriyolojik olarak indirgenmesi.

Şekil 3.1 de görüldüğü gibi toplam azot; organik azot, amonyak azotu, ve  $\text{NO}_2$  ve  $\text{NO}_3$  azotu şeklinde bulunur. Organik azot partikül ve çözünmüş azotun toplamıdır. Partikül azot ise detritus ve phytoplankton ölçümünün toplanması ile bulunur.



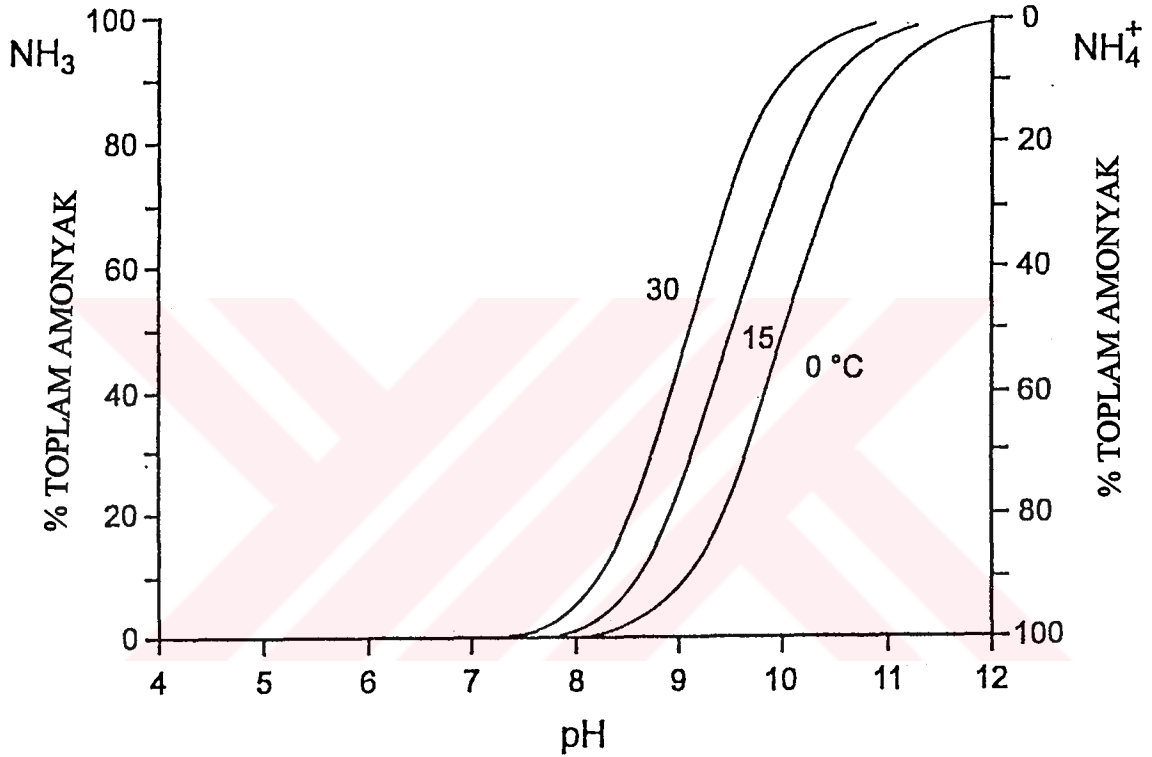
Şekil 3.1 Toplam azotun dağılımı (Thomann ve Mueller, 1987)

### 3.2.1.1. Amonyak

Evsel ve endüstriyel atıksular birleştirilerek alıcı ortama deşarj edilir. Yüksek amonyak konsantrasyonu canlı hayata toksik etki yapar ve su ortamında ekolojik dengeye zarar verir. Su ortamında, iyonize olmayan amonyak, amonyum iyonu ile dengeye varır. Amonyak, çeşitli metal iyonları ile kompleks formda, askıdaki partiküller üzerine adsorbe edilmiş şekilde ve askıda katı maddede ve çökelmiş tabakada bulunabilir. İyon halinde bulunmayan amonyak konsantrasyonu; sıcaklığa, pH ve toplam amonyak konsantrasyonuna bağlıdır. Farklı pH değerlerinde iki formun yüzdelilerindeki değişim

Şekil 3.2 de gösterildiği gibi pH arttıkça amonyum konsantrasyonu da artmaktadır. Bu dengeyi suyun sıcaklığında etkilenmektedir.

Toplam amonyak konsantrasyonu yüzey sularında 0.2 mg/l N dan azdır. Fakat bu değer 2-3 mg/l N'ta kadar ulaşabilir. Alıcı ortamda yüksek değerler evsel ve endüstriyel atıksu deşarjında ve arazi sızıntı suyundan kaynaklanmaktadır. Mevsimsel konsantrasyon değişimleri, su içinde yaşayan organizmaların ölmesi ve bozunması sonucu meydana gelir.



Şekil 3.2 Amonyakın su ortamında sıcaklığa ve pH'ya bağlı olarak iyonlaşma yüzdesi (Chapman, 1996)

### 3.2.1.2. Nitrat ve nitrit

Nitrat iyonu (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) tabii sulara bulunan azot bileşiminin yaygın formudur. Genellikle aerobik şartlarda nitrifikasyonla NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ve N'nun biyokimyasal oksidasyonu ile oluşur. Nitrit iyonu, nitrata hızlı bir şekilde oksitlenir. Yüzey sularında nitrat, püskürük kayalardan, arazi drenajlarından, bitki ve hayvan artıklarından kaynaklanır. Nitrat, su ortamında yaşayan canlılar için temel besin maddesidir ve mevsimsel salınımlar sonucu bitki büyümesi ve bozunması yoluyla oluşabilir. Tabii konsantrasyonları 0.1 mg/l NO<sub>3</sub>-N değerinden azdır. Evsel ve endüstriyel atıksulardan, katı atık uzaklaştırma depolarından, tıbbi atık depolama

arazilerinden ve kırsal ve şehir alanlarında inorganik azot gübresi kullanımından da kaynaklanmaktadır.

İnsan faaliyetleri sonunda yüzey sularında Nitrit konsantrasyonu 5 mg/l'nin üzerine çıkabilir 1 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$ 'dan az olduğunda insan ve hayvan atıkları gübre sızıntısı vasıtasıyla kirlenmenin olduğu söylenebilir. Fazla kirlenmeden dolayı, konsantrasyon 200 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$ 'a ulaşabilir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme sularında tavsiye edilen maksimum  $\text{NO}_3^-$  değeri 50 mg/l (11.3 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) olarak açıklamıştır. Yüksek Nitrit ve Nitrat konsantrasyonları suda önemli sağlık problemi oluşturabilir. Göllerde, 0.2 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$  ki azot konsantrasyonu alg büyümesi ve ötrofikasyon şartlarını başlatır. Nitrat, toprak sızıntı sularının sonucu olarak yeraltı suyunda bulunur. Fazla miktarda azot gübresi uygulanan bölgelerde yüksek konsantrasyonlara ulaşabilir. Son 20-30 yılda yeraltı suyunda azot konsantrasyonundaki artış gübre uygulamalarındaki artışla bağlantılıdır. Bu artış Avrupa'nın zirai bölgelerinde görülmüştür. Tarıma hazırlanacak arazinin temizlenmesi veya sürülmesiyle toprağın havalanması sonucu nitrifikasyon bakterilerinin oluşmasına ve toprakta nitratın meydana gelmesine sebep olur. Tabii sularda nitrit konsantrasyonu ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) 0.001 mg/l'dan çok düşük miktarda bulur. Bu değer 1 mg/l değerinden fazla olmaz. Yüksek nitrit konsantrasyonu suyun mikrobiyolojik kalitesi ile beraber değerlendirilir.

Yüzey sularında nitrit ile nitratın belirlenmesi, nütrient seviyesini ve organik kirlenme seviyesini gösterir. Yüksek miktarda nitratın insan sağlığı üzerindeki zararlı etkisi olduğundan dolayı içme suyu kaynaklarında tayin yapılır. Az miktarda bulunan nitrat, içme suyu arıtma tesisinde normal proses içinde uzaklaştırılır.

Nitrat veya nitritin ölçüleceği numuneler cam veya polietilen kutular ile alınmalı ve hemen filtre edilip analiz yapılmalı. Bu mümkün değilse, 2-4 ml/l kloroform ilave edilerek bakteriyolojik bozunma yavaşlatılmalı aynı zamanda numune 3-4 °C de muhafaza edilmelidir.

### 3.2.1.3. Organik azot

Organik azot, genellikle proteinli maddelerden (amino asit, nükleik asit ve üre) ve biyokimyasal değişim ürünleri olan hümik asit ve fülvik asitten ibarettir. Organik azot, biyolojik oluşumların mevsimsel değişimini gösterir. Çünkü bu oluşum su içinde phytoplankton ve bakteriler ile beraber meydana gelir ve besi zinciri içinde bir döngüyü oluşturur.

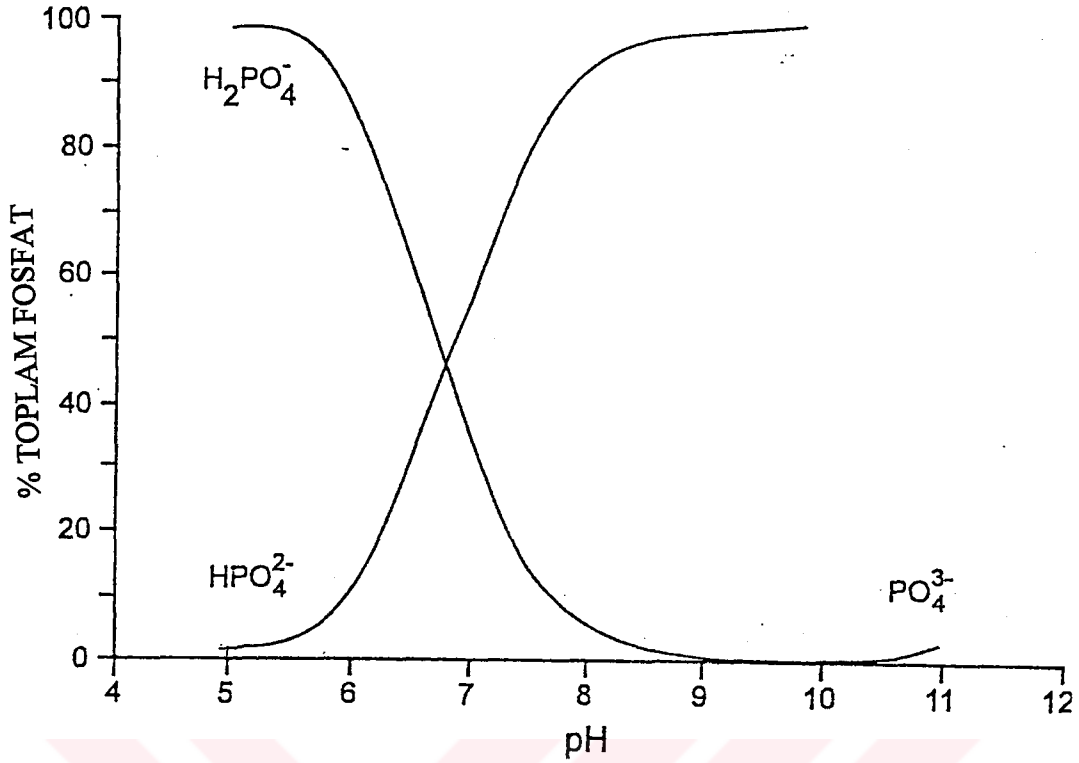
Toplam amonyak azotuna ilave olarak toplam organik azot Kjeldahl (Kjeldahl N) metoduyla belirlenir. Toplam azot ile inorganik formları arasındaki fark bize toplam organik azot içeriğini verir.

Numuneler 24 saat içinde filtre edilmeli ve analizi yapılmalıdır, yoksa organik azot amonyağa dönüşür. Bozunmayı geciktirmek için 2-4 ml/l kloroform veya 0.8 ml/lt derişik  $H_2SO_4$  numuneye ilave edilir. Fotokimyasal metotlar Kjeldahl metodunun yanında kullanılabilir. Bu metotla nitrat ve nitrit organik azota oksitlenir.

### 3.2.3. Fosfor bileşikleri ve döngüsü

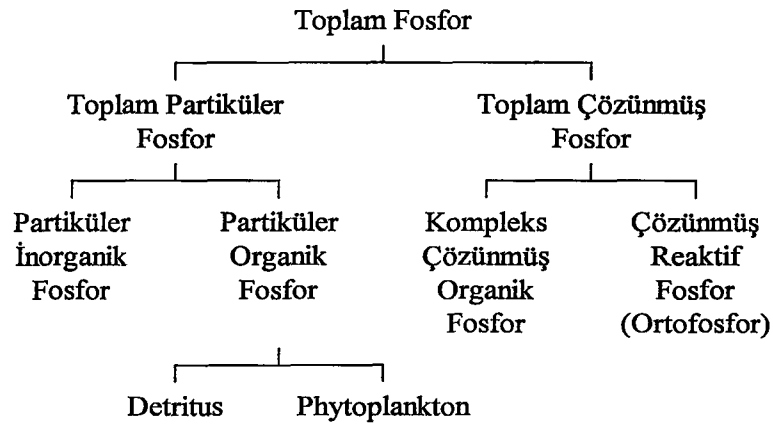
Fosfor, yaşayan organizmalar için gerekli besi maddelerindendir. Su içinde çözünmüş ve partikül olarak bulunabilir. Alg büyümesi için sınırlı besi maddesi olduğundan dolayı su ortamında ilk üretim için kontrol edilmelir. İnsan faaliyetlerinden dolayı fosfor konsantrasyonundaki artışlar ötröfikasyonun başlıca sebepleridir.

Tabii sulara ve atıksularda fosfor çözünmüş olarak orto fosfat, polifosfat şeklinde görülür. Fosfatın pH'ya bağlı olarak sudaki formu Şekil 3.3'teki gibidir. Fosfat konsantrasyonu fosfor olarak ifade edilir.



Şekil 3.3. Saf suda pH değerine bağlı olarak fosfatın değişik formlardaki değerleri (Chapman, 1996)

Toplam fosforun dağılımı Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Buna göre toplam fosfor toplam partiküler fosfor ve toplam çözünmüş fosfordan meydana gelir. Toplam partiküler fosfor organik ve inorganik fosforun toplamından ibarettir. Partiküler organik fosfor detritus ve phytoplankton dan oluşur. Toplam çözünmüş fosfor kompleks çözünmüş organik fosfor ve orto fosfatın toplamlarını içine alır.



Şekil 3.4 Toplam fosforun yapısal dağılımı (Thomann ve Mueller, 1987)

Fosfor, organik maddelerin bozunmasından kaynaklanır. Evsel atıksular, endüstriyel deşarjlar ve zirai bölgelerden sızan sular yüzey sularında fosfor seviyesinin artmasında katkıda bulunur.

Çoğu yüzey sularında, fosfor aralığı 0.005-0.020 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  dir. 0.001 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  den düşük konsantrasyonlar bazı temiz sularda bulunabildiği gibi 200 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  gibi yüksek değerler tuzlu sularda görülebilir. Yeraltı suyunda ortalama değer 0.02 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  olabilir.

Fosfor, su bünyesinde biyolojik çevrimin gerekli maddesi olduğundan dolayı, su kalitesi araştırmalarında ve izleme programlarında çok sık kullanılır. Fosforun yüksek konsantrasyonu kirlenmenin seviyesini belirlemede ve ötrofik durum hakkında bilgi verir. Göl ve rezervuar yönetiminde ve özellikle içme suyu sağlamada, alg büyüme oranlarını belirlemede fosfor seviyesinin bilinmesi gereklidir.

Fosfor konsantrasyonu, orto fosfat, toplam inorganik fosfat ve toplam fosfor olarak belirlenir. Fosforun çözünmüş formları, 0.45  $\mu\text{m}$  gözenek çaplı membran filtre ile numune süzildükten sonra ölçüm yapılır. Çözünmüş fosfor konsantrasyonları toplam ve partiküler konsantrasyonlar arasındaki farkla belirlenir. Fosfor, numune kaplarının yüzeyi tarafından hemen adsorplanabilir. Bundan dolayı, kaplar kullanımdan önce numune ile çalkalanmalıdır.

### **3.3. Su Kalitesi Kontrolünde Organik Kirlenmeyi Gösteren Parametreler**

Tabii sularda bulunan organik maddeler, toplam organik karbon şeklinde ölçülür. Mevcut organik madde miktarının belirlenmesinde karşılaştırma amacıyla  $\text{BOİ}$  ve  $\text{KOİ}$  parametreleri tayin edilir.  $\text{KOİ}$  değeri  $\text{BOİ}$  den daha fazladır. Bir çok örnekte  $\text{KOİ} > \text{BOİ} > \text{TOK}$  şeklinde sonuç değerleri elde edilir. Buna rağmen bazı özel durumlarda bu sıralama doğru olmayabilir. Bu gibi durumda numunede toksik veya girişim yapan bir maddenin bulunması ihtimali üzerinde durulur.

### 3.3.1. Toplam organik karbon

Tabii sulara organik maddeler, su ortamında yaşayan bitkilerin fotosentezinden, canlı türlerinin ölümünden oluşan atıklardan ve deşarj edilen atık maddelerden kaynaklanır. Sudaki toplam organik madde miktarı, kirlenme seviyesinin belirlenmesinde kullanılır.

Evsel veya endüstriyel atıksu deşarjının olmadığı yüzey sularında, tabii organik maddelerden kaynaklanan TOK konsantrasyonu yüzey sularında 10 mg/l, yeraltı sularında 2 mg/l'den azdır. Evsel atık sulara TOK aralığı 10-100 mg/l'dır. TOK çözünmüş ve partikül maddelerden ibarettir ve askıda katı madde miktarından etkilenir. Çözünmüş ve partiküler organik karbon nehir suyu analizlerinde 0.7 µm gözenek çaplı cam yünlü filtre ile numune süzöldükten sonra belirlenir. Yüzey sularında, çözünmüş organik karbon seviyesi, partiküler organik karbon gibi 1-20 mg/l aralığındadır.

### 3.3.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı

KOİ, su içerisinde bulunan organik maddelerin kuvvetli bir oksitleyici ile oksitlenebilen kısmın oksijen eşdeğeridir. Organik ve inorganik olarak oksitlenebilen tüm maddeleri belirlemek için yapılır. Su kirliliğinin belirlenmesinde ve su izleme programlarında ve deşarj kontrol yönetmeliğinde kullanılan en önemli parametrelerden birisidir.

KOİ konsantrasyonu kirlenmemiş sulara 20 mg/l O<sub>2</sub> veya daha az, alıcı ortama verilen atıksularda 200 mg/l'den fazla olabilir. Endüstriyel atık suların KOİ'si 100 mg/l O<sub>2</sub>'den 60.000 mg/l O<sub>2</sub>'ye kadar çıkabilir. KOİ analizi için cam şişe su içine daldırılır ve organik maddelerin ayrılmamasına dikkat edilerek numune alınır. Uygun olan tayin yöntemi numunenin hemen analiz edilmesidir. Eğer kirli değilse 24 saat soğuk ortamda bekletilmelidir. Eğer numune hemen analiz edilmez ise derin dondurucuda muhafaza edilmelidir.

### 3.3.3. Biyolojik oksijen ihtiyacı

Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) su numunesinde biyolojik olarak bozunabilen organik madde miktarının yaklaşık olarak ölçülmesidir. Numunede oksitlenebilen organik maddeler, durgun ortamda mevcut aerobik mikroorganizmalar için gerekli oksijen ihtiyacının tayiniyle belirlenir. Organik maddenin ölçüsü olarak, biyokimyasal oksidasyon sırasında harcanan oksijen esas alınır. Numunede toksik maddelerin mevcudiyeti BOİ tayininde biyolojik aktiviteyi azaltan bir etki oluşturur ve negatif hataya sebep olur.

Standart laboratuvar çalışmasında, 20 °C sabit sıcaklıkta en az 5 gün karanlık ortamda numunenin inkübasyonu sonucunda oksijen tüketiminin ölçümüyle BOİ tayini yapılır. Oksijen tüketimi, inkübasyon periyodundan önce ve sonra numunede çözünmüş oksijen konsantrasyonu arasındaki fark ile belirlenir. Numunede organik maddelerin konsantrasyonu çok yüksek olursa, mevcut oksijenin tamamen tüketilmemesi için, inkübasyondan önce distile su ile numunenin seyreltilmesi gerekir.

Kirlenmemiş sularda BOİ 2 mg/l O<sub>2</sub> veya daha az değere sahiptir. Alıcı ortamın BOİ değeri 10 mg/l veya daha fazladır. Arıtılmamış evsel atıksuda bu değer 350-600 mg/l, endüstriyel atıksularda 200-25000 mg/l dir.

BOİ ölçümü için alınan su numunesine hiçbir koruyucu madde ilave edilmez ve sadece cam şişenin içinde bekletilir.

### 3.3.4. Hümik ve fülvik asitler

Yaşayan organizmalardan ortaya çıkan organik maddeler yüzey suyunun tabii kalitesini önemli oranda etkiler. Bazı tabii organik bileşikler özellikle tat ve koku açısından su kalitesini bozarlar. Buna ilave olarak, bu maddeler yüksek karışabilme yeteneğine sahip olduğundan dolayı ağır metallerin özelliğini bağlı olarak su ortamından çökelerek ayrılabilirler. Sonuç olarak, hümik maddeler toksik ve metal komplekslerin hareketini etkiler. Bundan dolayı, bu maddelerin konsantrasyon değerlerinin ölçülmesi su ortamında insan kaynaklı faaliyetlerin belirlenmesi için önemlidir.

Humus suya topraktan ve toprağa karışmış hayvan atığından veya biyokimyasal bozunma sonucu su ortamına kendiliğinden oluşur. Hümik ve fülvik asitlerin BOİ'si düşük olmasına rağmen, kimyasal olarak kolayca oksitlenebilir.

Fülvik ve hümik asitin belirlenmesi için numunelerin filtre edilmesine veya korunmasına gerek yoktur. Toplam fülvik ve hümik asit içeriği fotometrik olarak belirlenir ve ayrı belirlenmesi de spektrofotometrik yöntemle yapılabilir.

### 3.4. Su Kalitesini Etkileyen Organik Kirleticiler

Organik bileşiklerin çoğu insan faaliyetleri sonucu ortaya çıkar ve su ortamına karışır. Bu bileşikler farklı fiziksel, kimyasal, toksik özelliklere sahiptir. Her bir bileşiğin izlenmesi su kalitesi yönetimi çalışmasında zor olabilir. Bu maddelerden toksik ve diğer özelliklere sahip olan organik maddelerin seçimi mümkündür. Mineral yağ, petrol ürünleri, fenol, pestisit, PCB'ler, deterjanlar bu tip kirleticilere örnek olarak verilebilir. Buna rağmen, bu kirleticiler her durumda izlenemez. Çünkü bunların tayini için çok hassas ölçüm yapan aletlere ihtiyaç vardır.

Organik kirleticilerin izlenmesinde TOK, KOİ ve BOİ parametreleri kullanılır. Bunların çok düşük değerlerinin belirlenebilmesi için gaz kromatograf, (GC), sıvı kromatograf (LC), gaz kromatograf/katı spektrofotometre (GC/MS) ölçüm cihazları gereklidir. Yoğun çalışmalarda, organik kirleticilerin sınıfları belirlenmelidir. Bu sınıflar; hidrokarbonlar, bozunabilir haloarbonlar, klorlu hidrokarbonlar, farklı pestisit grupları, PCB'ler, fenol, fitolet esterler, nitro semines, nitromatis, haloeterler, benzidin derivatives, dioksindir (Chapman, 1996).

#### 3.4.1. Mineral yağ ve petrol ürünleri

Mineral yağ ve petrol ürünleri yüzey sularında ekolojik tahribat yapan önemli kirleticilerdendir. 800 çeşit mineral yağ kirleticisi belirlenmiştir. Bunun ötesinde düşük ve yüksek molekül ağırlıklı alifatik, aromatik ve nofitik hidrokarbonlar, yüksek molekülü bozunmayan hetero çevrimli bileşikler de önemli kirleticilerdir.

Yağ, su ortamında çözünmüş, film tabaksı, emülsiyon ve absorplanmış formlarda bulunabilir. Bu fraksiyonlar arasındaki etkileşimler özgül ağılık, kaynama noktası, yüzey gerilimi, viskozite, çözünürlük, bileşiklerin absorplama kapasitesine bağlıdır. Buna ilave olarak, biyokimyasal, mikrobiyolojik, kimyasal, fotokimyasal prosesler ile yağ bileşiklerinin bu formlara dönüşümleri aynı anda oluşur. Bunların belirlenmesi bu faaliyetlerin değerlendirilmesi için önemlidir.

İçme suyu için tavsiye edilen maksimum değer 0.01-0.1 mg/l dir. Ham petrolün 0.3 mg/l ve daha fazlası temiz su balıklarında toksik etki yapar. Hidrokarbonlar yağın başlıca bileşeni olduğundan, petrol ürünlerinin belirlenmesinde analitik verilerin karşılaştırma oranı olarak kullanılır

Yağlar biyolojik olarak kolayca oksitlendiği için, karbon tetraklorür veya triklorotrifloraetan ile numunenin ekstrakte edilmesi gerekmektedir. Ekstrat, soğuk, karanlık ortamda uzun bir süre depolanabilir. Yağın gravimetrik yolla belirlenmesi çok kolaydır fakat etkili değildir uçucu maddelerin kaybindan dolayı hatalı sonuç verir. ultraviyole (U.V.), spektrometre ile ölçülmü daha yaygındır. Kolonlu ve ince tabakalı kromatoğraf uçucu ve uçucu olmayan poliaromatik hidrokarbonlar şeklinde analiz edilebilir (Chapman, 1996).

### 3.4.2. Fenol

Fenol, farklı endüstrilerin atık deşarjları sonucu su ortamına giren kirletici madde gruplarının belirlenmesi için önemlidir. Bunlar su ortamında ve taban sedimentinde akuatik organizmaların metabolizması, biyolojik bozunması, organik maddelerin dönüşümü boyunca tabii formudur.

Fenol, bir veya birden fazla hidroksil grubu ile aromatik bileşiklerden oluşur. Bu maddeler biyokimyasal, fotokimyasal ve kimyasal olarak kolayca oksitlenir. Bunların su ortamındaki ekolojik durumunda yaşayan organizmalar üzerinde direk etkisi olduğu gibi, biyojenik elementlerin ve çözünmüş gazların önemli dönüşümlerinde zararlı etkileri vardır.

Fenol, içme suyunda çok sıkı bir şekilde kontrol edilmelidir. Kirlenmemiş sularda fenol konsantrasyonu 0.02 mg/l'den genellikle azdır. Buna rağmen 0.01 mg/lt fenol konsantrasyonu balıklar üzerinde toksik etki yapar.

Fenoller iki grupta incelenir; Bunlardan biri buharda destile edilebilen fenol, kresol, ksilenler, klorofenol gibi maddeler diğeri de destile edilemeyen katekol, hidrokinonondır. Analitik metotta uçucu fenolün fraksiyonun belirlenmesi, buhar destilasyonu ile yapılır. Serbest fenol gaz kromatografi ile hassas bir şekilde belirlenir. Ölçüm 4 saat içinde yapılmalıdır. Bu mümkün değilse, numune NaOH ile 3-4 gün ve 4 °C de korunmalıdır.

### 3.4.3. Pestisitler

Pestisitler zirai alanlarda bitkilere zarar veren canlıları yok etmek için kullanılan kimyasal maddelerdir. Pestisitler bakteri ve funguslardan, bitkilere ve memeli canlılara kadar tüm yaşayan organizmalar üzerinde toksik etkisi olan kimyasal bileşiklerdir. Tespit edilebilir 10000 çeşit pestisit vardır. Pestisitlerin kullanımı kimyasal yapısına bağlı olarak değişir.

Pestisitlerin yeraltı suyunda izlenmesi zordur. Pestisitler yaygın bir şekilde tarımda kullanılır ve çok zehirli kimyasal maddeler içerir. Pestisit kullanımının çok olduğu bölgelerde kirlilik izleme programları spesifik pestisitlerin ölçümü ile yapılır.

### 3.4.4. Deterjanlar

Deterjanlar, anyonik ve katyonik deterjanlar şeklinde üretilir. Anyonik deterjanlar, çok geniş olarak üretilir veya kullanılır. Deterjanlar endüstriyel ve evsel atıksulardan alıcı ortama girer. Bunlar çözülmüş veya absorplanma durumunda ve yüzey filmi şeklinde bulunur. Deterjan 0.4-3 mg/l konsantrasyon aralığında tat ve kokuya sebep olur ve klorlama ile tat ve koku azaltılabilir.

Deterjanlar, yüzey sularında köpük oluşumu yapar. Bundan dolayı yüzey sularında havayla temas olmamakta ve oksijen etkileşimini kestiğinden dolayı kendi kendine bozunma

yavaşlamaktadır. Köpük oluşumunda deterjanın eşik konsantrasyonu 0.1-0.5 mg/l arasında değişir.

### 3.5. Su Ortamında Kirletici Maddelerin Taşınım Mekanizmaları

Su ortamında kirletici maddelerin özümlemesi ve taşınması fiziksel olaylardan etkilenmektedir. Bu proseslerin detaylı olarak açıklanması Fischer (1979) ve Schnoor (1985) tarafından yapılmıştır. Hidrolojik transfer prosesleri şunlardır;

- **Adveksiyon:** Suyun akış yönünde partiküllerin taşınımıdır. Örneğin; Körfez veya nehirde akan suyun akıntısından dolayı yayılmanın meydana gelmesi.
- **Konveksiyon:** Yoğunluktan dolayı suyun dikey taşınımıdır. Bu yapı derin göllerde sıcaklık farklılığından dolayı oluşan yoğunluk farkı sonucu meydana gelen bir taşınımıdır.
- **Moleküller Difüzyon:** Moleküler dağılım yoluyla partiküllerin rasgele dağılmasıdır.
- **Türbülanslı Difüzyon:** Türbülans hareketleri ile partiküllerin rasgele dağılmasıdır.
- **Ayrılma:** Su ortamında farklı hızlarda ve farklı durumlarda akışkanın karışımıdır. Bunlardan bir tanesi derin göllerde sıcaklık farklılığından dolayı tabandaki suyun yukarıya doğru yükselmesidir. Çevrimde rüzgar esintisinin de önemli bir etkisi vardır. Körfezlerde ve kıyı dip sularında karmaşık akımların ters yönde meydana getirdiği vektörel olarak hız değişimleridir.
- **Dispersiyon:** Difüzyon ve dağılmanın etkisiyle kirletici maddelerin veya partiküllerin bulunduğu ortamda dağılmasıdır. Ayrılma ve difüzyonun beraber etkisi ve etkili dispersiyonun oluşması nehirde ve körfezde akım yönünde diğer difüzyon mekanizmalarının hareketinde önemli etkisi vardır.
- **Buharlaştırma:** Toprak yüzeyinden ve su ortamından su moleküllerinin buharlaşarak atmosfere karışmasıdır.
- **Partikül Çökmesi:** Askıda katı maddelerin suyun yoğunluğundan fazla olduğundan dolayı yer çekimi kuvvetinin etkisiyle tabana çökmesidir.
- **Partikül Sıkışması:** Su ortamında partiküllerin çökmesi sonucu tabanda oluşan birikmedir.

- **Partikül Hareketi:** Çökeltinin üzerinde türbülans hareketleri sonucu su ortamında tabandaki partiküllerin yukarı doğru kalkmasıdır.

Su kalitesi modellemesinde yukarıda anlatılan mekanizmaların hepsi dikkate alınmalıdır. Yapılacak olan hesaplar parametrelere bağlıdır. Bunlarda meydana gelen değişim modelde ve hesaplarda değişime sebep olacaktır.

### **3.6. Su Ortamında Kirletici Maddelerin Bozunma Mekanizmaları**

Fiziksel, biyolojik ve kimyasal prosesler hidroliz, oksidasyon-redüksiyon, fotoliz, iyonizasyon, buharlaşma, sorpsiyon, biyolojik bozunmayı içine alır. Kinetik formüller ve sabit katsayılar laboratuvar çalışmalarına bağlı alınarak hesaplanabilir. Laboratuvar ölçümlerinde elde edilen bulgular sonucu elde edilen değerler, genel adveksiyon-dispersiyon formülünde su kalitesi modelinde kullanılabilir.

Laboratuvar çalışmalarında elde edilen deneysel sonuçlar, gerçek su ortamında farklı değerlere sahip olabilir. Fotosentez olayı için yeterli ışık kaynağının mevcut olması gerekmektedir, bununla beraber etkili sıcaklık ve tabii su ortamının pH'sı, ilave iyonların kullanımı çeşitli reaksiyonlar ve atmosferik durumlar fotosentez olayını etkiler.

#### **3.6.1.Hidroliz**

Hidroliz, maddenin su ile reaksiyondan dolayı moleküler bağlarının kırılmasıdır. Bileşiklerin hidroksil grupları ile bazı kimyasal bileşik gruplarının yer değiştirmesi sonucu meydana gelen hidrolitik reaksiyonlardır. Hidroliz reaksiyonları hidrojen mevcudiyeti veya hidroksil iyonları ile katalizlenir. Reaksiyon hızları, sistemin pH'sına bağlıdır. Hidrolitik reaksiyonlar, reaksiyona uğrayan maddelerin yapısını değiştirir.

#### **3.6.2.Oksidasyon-Redüksiyon**

Oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları indirgenmiş iyonların yükseltgenmesi sonucu elektronların yer değiştirmesidir. Oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları, son denge sabitleri

ile ilişkili olarak kütle hareket modellerinde kullanılır. Bu reaksiyonların modellere uygulanmasında zor olabilir. Bazı reaksiyonlar çok yavaştır ve bu maddelerin konsantrasyonları termodinamik dengelere bağlı olarak farklılık gösterir.

### 3.6.3.Fotoliz

Fotoliz, kimyasal moleküler yapıların foton kırılması sonucu enerji yayılması şeklinde gerçekleşen bir bozunma prosesidir. Reaksiyon hızı, kimyasal yapının parçalanması için gerekli olan enerjiye, mevcut ışık yoğunluğuna, direk olarak fotolize uğramayan mevcut bileşiklerin yapısına bağlıdır. Derinliğe bağlı olarak ışık yoğunluğunun, günün zaman dilimi içerisinde bir değişim gösterdiği görülmüştür. Arazi şartlarında azalan fotoliz hızı laboratuvar şartlarında yükselebilir.

### 3.6.4.Buharlaşma

Buharlaşma, su ile hava yüzeyleri arasında kimyasalların su ortamı ile atmosfer arasında gerçekleşen fiziksel bir dönüşüm olayıdır. Uçucu maddelerden benzenin buharlaşması bu prosesin anlaşılmasında önemli bir olaydır. Whitman'nın iki film ve iki direnç modeli hız sabitlerinin tahmininde yaygın olarak kullanılan bir metottur. Birinci dereceden kinetik formülleri transfer prosesinin oluşturulmasında kullanılır. Kütle transfer hızı, deneysel olarak kolayca ölçülebilir. Tabii ortamda buharlaşmayı, hız, derinlik, tuzluluk, rüzgar hızı, değişen atmosferik koşullar etkilemektedir.

### 3.6.5.Sorpsiyon

Sorpsiyon, çözünmüş maddelerin su ortamında çökelebilen maddelere yapışmasıyla ortamdan ayrılmasıdır. Parçalanma katsayısının belirlenmesi çözeltide kimyasal olarak ayrılabilen madde miktarı ile katı yüzeyde kimyasal maddeleri alan yüzeyin bölünmesine eşdeğerdir.

Nehirde ve koylardaki sedimentler ve suyun hızlı hareket ettiği yerlerde sistem eşitliğinin kabulü sağlıklı olmayabilir.

Absorpsiyon prosesini etkileyen husular aşağıdaki gibidir;

- 1) Bazı kimyasallar absorplanamaz.
- 2) Farklı partikül boyları değışik özellikler gösterir.
- 3) Koylarda tuzluluk adsorplama prosesini etkiler. Bazıları maddeler ağır metal ve hidrofobik elementlerden etkilenebilirler.

#### **3.6.6.Biyolojik bozunma**

Biyolojik bozunma, su ortamında yaşayan bakterilerin metabolik aktiviteleri sonucu oluşan reaksiyonlardır. Kimyasal maddelerin bozunması enzim mevcudiyetine bağı olarak çok hızlı olabildiğı gibi diğeri bileşiklere bağı olarak bu proses çok yavaş olabilir. Kimyasalların su ortamında biyolojik olarak parçalanması çok önemli bir dönüşüm prosesidir. Çeşitli kinetik formülleri birinci ve ikinci derecede olabilir. Hız katsayıları sıcaklığın, pH'nın ve mevcut besi maddesinin bir fonksiyonudur.

#### 4. İSTANBUL BOĞAZI'NDA AKINTI OLUŞTURAN SULARIN KALİTESİ ve DAHA ÖNCE UYGULANAN MODELLER

##### 4.1. Marmara Denizi'nde Su Kalitesi

Marmara Denizi, Karadeniz ve Ege Denizine bağlantısı olan ve bu iki deniz arasında su akışının olduğu bir iç denizdir. Marmara Denizi, çevresindeki yerleşim birimlerinde ve endüstri merkezlerinden Marmara Denizi'ne verilen atıksuların olumsuz bir şekilde etkilenmesi denizin ekolojik ve su kalitesini önemli değişimler meydana gelmektedir.

İstanbul metropolünün en önemli ön arıtma sistemi olan ve 1988 yılının ortalarında devreye giren Sarayburnu deşarjı bu bölgede çözülmüş oksijen seviyesini, ekolojik denge için gerekli minimum değer olarak kabul edilen 5 mg/l nin altına düşmesine sebep olmuştur. Bunun yanında Büyükçekmece, Adalar ve Tuzla arasındaki su kütlelerinde 5 mg/l'lik çözülmüş oksijen sınırı deniz seviyesinde yüzeye doğru 10 m'ye kadar yükselmiştir (Artüz, 1992).

Kritik kirlenme konsantrasyonu; Marmara Denizindeki kirlenme boyutunu ortaya koymada ve bölgesel kirlenmeler için gerekli önlemleri almada kullanılır. Bu güne kadar devam eden tüm gözlemler Marmara Denizinin, bir çok çevre etkisine maruz kaldığını göstermektedir. Üst tabakada ortalama  $PO_4\text{-P}$  konsantrasyonu  $6\mu\text{g/l}$  civarındadır. Bu değer 0.0-12  $\mu\text{g/l}$  arasında değişebilir. Alt tabakada, bu değer 4-5 kat arttığı gözlenmiştir. Buna benzer olarak, üst tabakada  $NO_x$  konsantrasyonu değişkendir ve 15-20  $\mu\text{g/l}$  arasında, mevsimsel değişimi 0.0-40  $\mu\text{g/l}$  civarındadır. Alt tabakada, bu artışı 120-140  $\mu\text{g/l}$  ortalama  $NO_x$  konsantrasyonu ile ifade edilebilir. Buna göre, her iki nütrient seviyesinin mevsimsel değişimlerden etkilendiği ve ileride ötrofikasyon potansiyelinin bir göstergesi olduğu gözlenmiştir. Bahar aylarında nütrient Konsantrasyonun Marmara Denizi'ndeki dağılımları Şekil 4.1 sunulmuştur (İSKİ,1994).

Marmara Denizi'nde çözülmüş oksijen konsantrasyonu, alt tabakada her ne kadar düşük olsa da sıfır değerine düşmez. Deneysel çalışmalar sonunda, çözülmüş oksijen konsantrasyonu alt

tabakada 2.0-2.5 mg/l olduğu gözlenmiştir. Bu değer Akdeniz'den gelen alt tabaka akımı ile artar.

Marmara Denizinin üst tabakasinda ilk üretim kirlenmenin boyutunu gösteren önemli bir parametre olarak göz önüne alınmalıdır. Daha önce elde edilen bilgilere göre ilk üretim seviyesi üst tabaka 150-200 gC/m<sup>2</sup>-yıl olduğu gözlenmiştir. İlk üretim Marmara Denizi'nin açık bölgesinde 220-270 gC/m<sup>2</sup>-yıl ve İzmit koyu için 300-330 gC/m<sup>2</sup> yıl olarak bulunmuştur (İSKİ, 1994).

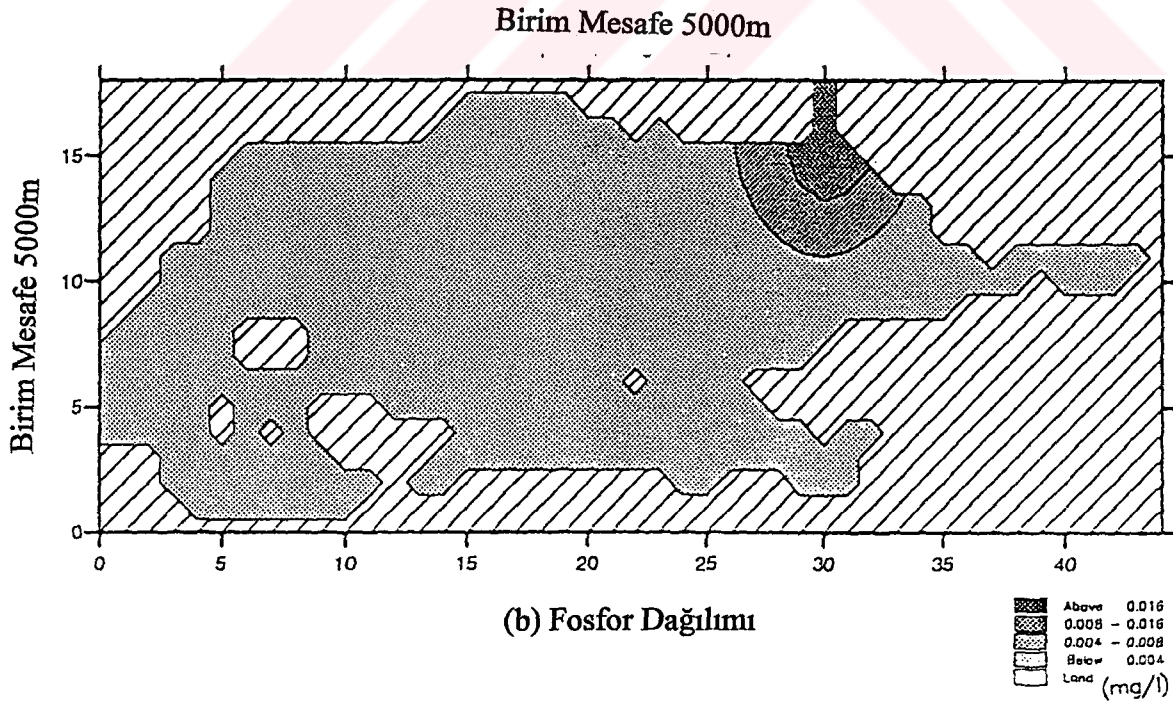
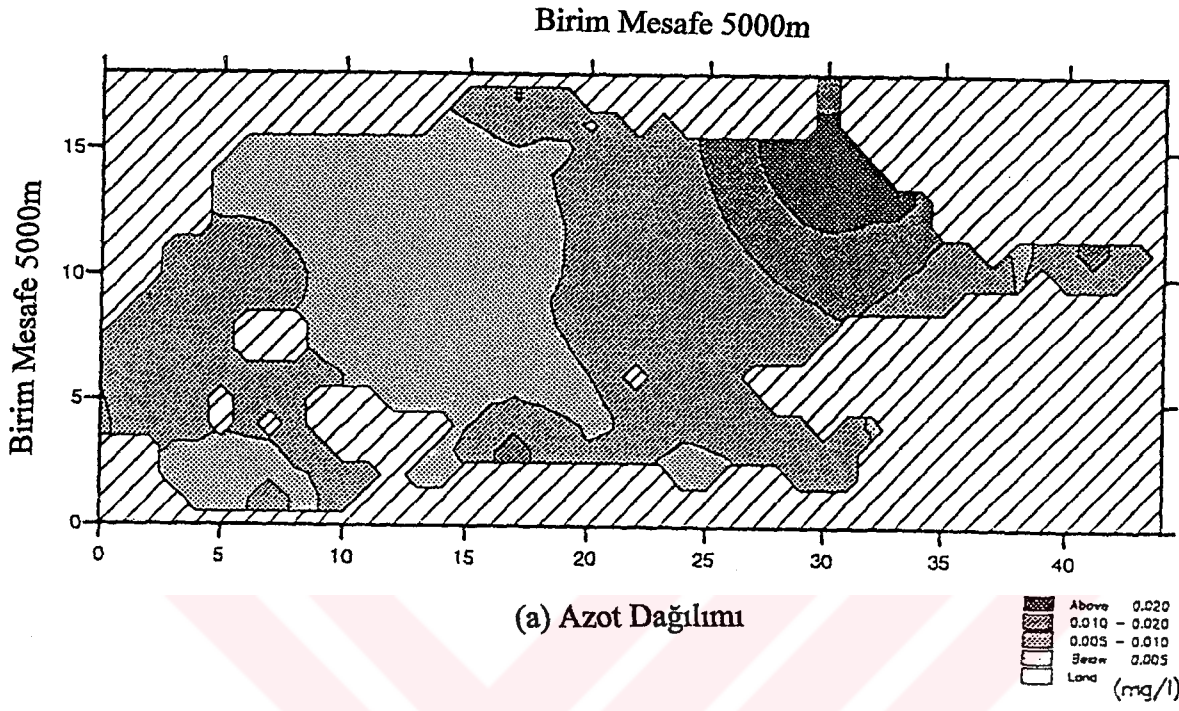
İstanbul Boğazı'nın alt tabakasinda ve Marmara Denizi'nin boğaz girişinde çeşitli izleme istasyonlarında yapılan PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>x</sub> ve TOC değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

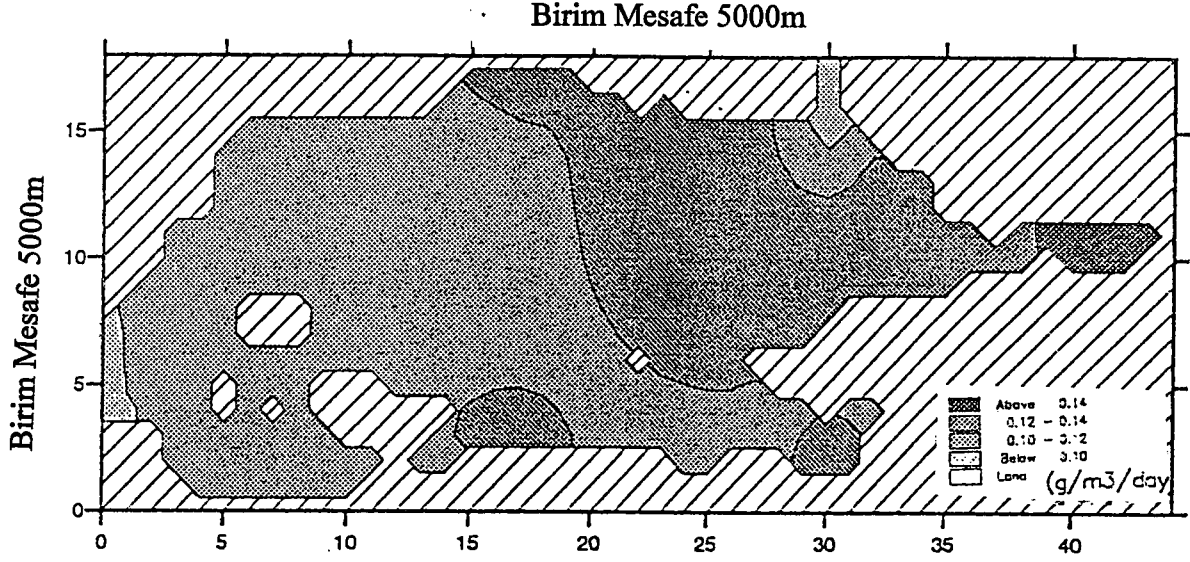
Tablo 4.1 İstanbul Boğazı üst ve alt tabakalarında kirlilik konsantrasyonları (Orhon. D., 1994)

|                                 | Ortalama Konsantrasyonlar |                        |            |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------|------------|
|                                 | PO <sub>4</sub> -P(mg/l)  | NO <sub>x</sub> (µM/l) | TOK (mg/l) |
| Üst Tabaka<br>(M16;M17;M22;45C) | 0.0163                    | 1.46                   | 2.31       |
| Alt Tabaka<br>(B14;B17;K0)      | 0.1354                    | 9.26                   | 0.62       |

#### 4.2 Karadeniz'den Kaynaklanan Kimyasal Maddeler

Kapalı bir deniz ve çok geniş bir drenaj havzasına sahip olan Karadeniz'in diğer denizlerle bağlantısını İstanbul Boğazı sağlar. Kirlenmenin önemli boyutlarda olduğu Karadeniz suları boğazdan, Marmara Denizi'ne ve buradan da Çanakkale Boğazı yoluyla Akdeniz'e akar. Karadeniz'de son 20 yıl içinde yapılan çalışmalar bu denizin ekosisteminde ve biyolojik yaşam çeşitliliğini kontrol eden temel kimyasalların miktarında önemli değişimlerin olduğunu ortaya konmuştur (Tuğrul vd., 1992).





Şekil 4.1. İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi'nde azot, fosfor ve birincil üretim dağılımı  
(İSKİ, 1994)

Örneğin Tuna Nehri'nin taşıdığı kirlilik yükleri aynı dönemde 5-10 kat artmıştır (Mee, 1992). Karadeniz'deki bu olay sadece Marmara Denizi'nin değil, aynı zamanda Akdeniz'in ekolojisini de etkilemektedir. Marmara Denizi için geçerli olan bir diğer durum da, bir iç deniz olması ve kıyılarında yoğun bir sanayileşme ile kentleşmenin oluşmasıdır. Bunun sonucu olarak, bölgeden denize önemli kirletici girişinin olduğu gözlenmiştir. Boğazdaki ters yönlü akıntı sistemini oluşturan Marmara'nın Akdeniz suyundan kaynaklanan tuzlu suyu ile Karadeniz'in az tuzlu suları arasında büyük farklılıklar vardır. Çanakkale boğazı yoluyla Marmara denizine giren Akdeniz'in tuzlu suları Marmara çanağında 6-7 yıl kaldıktan sonra büyük değişikliğe uğrayarak inorganik bes maddelerince zenginleşir ve çözünmüş oksijence %70-80 azalma meydana gelerek İstanbul Boğazı'na ulaşır (Polat ve Tuğrul, 1995).

Batı Karadeniz'e nehirler yoluyla ulaşan karasal (evsel + endüstriyel + tarım) kaynaklı kimyasal kirleticiler son yıllarda gözlenen belirgin artışa paralel olarak, İstanbul Boğazı üst akıntılarıyla Marmara'ya taşınmaktadır. Bu taşınım miktarında son yıllarda artışların olduğu gözlenmiştir. Diğer yandan, deniz ortamında meydana gelen biyokimyasal olaylar, Karadeniz'in yüzey sularındaki kimyasal maddelerin nicelik, nitelik olarak mevsimlere bağlı değişimler göstermesi ve uzak mesafelere farklı kimyasal yapılarda taşınmasına neden

olmaktadır. Örneğin, nehirler yoluyla Karadeniz'in yüzey sularına karışan azotça ve fosforca zengin sular, boğaz bölgesine ulaşınca kadar besin zinciri yoluyla çevrime uğrar, bir bölümü de fotosentez sonucu organik yapıya dönüşür ve partikül organik madde olarak deniz tabanında birikmeye uğrar, çözünmüş inorganik ve organik yapıda olanlar da su kütleleri ile birlikte taşınırlar. Bu nedenle, Marmara denizi ile Karadeniz arasındaki kimyasal madde akışının sağlıklı tahmini, ancak boğazın iki girişinde sistematik ölçümlerin yapılması ile mümkündür. Boğaz alt ve üst akıntısı ile taşınan suların kimyasal özelliklerinin ve yıllık yüklerin belirlenmesi gerek komşu denizlerdeki besi maddesi ve organik karbon bütçelerinin oluşturulması, gerekse doğal ekolojik dengelerin bozulduğu bu denizlerin iyileştirilmesini amaçlayan yönetim programları için büyük öneme sahiptir (Polat ve Tuğrul, 1995).

Boğaza doğru akan Karadeniz yüzey suyunun nütrient ve organik karbon içeriği mevsimlere bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Özellikle, kış aylarında  $4.5-7.5 \mu\text{M}$  gibi en yüksek değer olan nütrient Konsantrasyonu yaz ayında  $<0.1-0.2 \mu\text{M}$ 'dan küçük değerlere ulaşır. En yüksek kış ayı Konsantrasyonu, Boğazda ve Romanya'nın kuzeyinden akan nehir sularında görülmüştür. Fakat bu kirliliğe sahip Karadeniz suyunun Boğaz girişine ulaşana kadar kirlilik etkisi azalmaktadır. Çözünmüş inorganik fosforda da, mevsimsel değişimlerin olduğu gözlenmiş, Temmuz-Ekim aylarında  $<0.05 \mu\text{M}$  değerinde, kış aylarında  $0.3-0.6 \mu\text{M}$  değerine ulaştığı tespit edilmiştir. İnorganik azot ve inorganik fosforun tahmin edilen yıllık ortalaması  $1.5$  ve  $0.16 \mu\text{M}$  dir (Orhon vd., 1994 ve Polat ve Tuğrul, 1987-1992). Yıllık ortalama amonyak Konsantrasyonu çıkış suyu için  $0.5 \mu\text{M}$  olarak verilen bu değer yıllık ortalama nitrat Konsantrasyonunun  $1.5$  katı fazla olarak  $1.5 \mu\text{M}$  olarak kaydedilmiştir (Polat ve Tuğrul, 1992).

1991 ile 1994 yılları arasında Karadeniz çıkış suyunda partiküler organik azot konsantrasyonu kış sonu ile bahar başlangıcı boyunca  $0.5 \mu\text{M}$  den  $5.5 \mu\text{M}$  a kadar değişim gözlenmiştir ve ortalama değer  $2.0 \mu\text{M}$  olarak kaydedilmiştir. Karadeniz sularını Marmara'ya taşıyan boğaz üst akıntısının içerdiği çözünmüş organik fosfor (ÇOP) konsantrasyonu, paralel örneklerde ölçülen toplam fosfor (TP) sonuçlarından (ÇIP+PP) çıkartılmasıyla hesaplanmıştır. Partiküler fosforun yıllık değişim aralığı  $0.07 \mu\text{M}$  ile  $0.23 \mu\text{M}$  ve yıllık ortalama değer ise  $0.15 \mu\text{M}$

olarak kaydedilmiştir. Çözünmüş organik fosforun ortalama konsantrasyonu ve çözünmüş organik azot (karasal kaynaklı ve bakteriyolojik bozulmaya dayanıklı)  $0.20 \mu\text{M}$  ile  $18 \mu\text{M}$  tahmin edilmiştir. Çıkışta çözünmüş organik azotun mevsimsel değişim aralığı  $155 \mu\text{M}$  ile  $250 \mu\text{M}$  ve 1987-1994 yılları arasında yıllık ortalama değeri  $185 \mu\text{M}$  olarak kabul edilmiştir. En fazla bozunabilir partiküler organik karbon  $7 \mu\text{M}$  ile  $40 \mu\text{M}$  arasında değişir, ve yıllık ortalama değer  $17 \mu\text{M}$  olarak kaydedilmiştir. Yıllık değerlerden POK:PON:PP oranlarının belirlenmesin de kullanılan 112:13:1 ifadesi okyanuslar için phytoplankton klasik oranı ile benzerlik göstermektedir.

Toplam fosfor konsantrasyonu (inorganik fosfor+partiküler fosfor+çözünmüş organik fosfor) direk ölçümünden  $0.30$  ile  $0.80 \mu\text{M}$  arasında ve yıllık ortalama değeri  $0.50 \mu\text{M}$  olarak tahmin edilir. Karadeniz çıkış suyunda toplam fosfor kış ayında inorganik fosfordan ibaret olmasına rağmen, toplam fosforun yıllık ortalaması inorganik fosfor, partiküler fosfor ve çözünmüş organik fosfor ile karşılaştırılabilir. Biyolojik olarak bozunan azot, toplam azot ( $22.0 \mu\text{M}$ )'un %20'den ibarettir. Bunun nedeni oranın bakteriyolojik olarak parçalanmaya karşı dirençli ve karasal kaynaklı organik madde yapısında bulunmasıdır. Atıksuda ve nehirde nütrient ve organik maddelerin büyük miktarı kuzeybatı Karadeniz'e suları deşarj edilmesine rağmen, çıkış suyunda çözünmüş organik azotun %10'u haftalık veya aylık zaman dilimi içinde bozulduğu kaydedilir. Çıkış suyunda çözünmüş organik azot ve partiküler organik azot kış-bahar öncesinde  $8.8-10.3 \mu\text{M}$  ortalama konsantrasyonu  $6.7 \mu\text{M}$ 'ye kadar artar bahar sonrası boyunca  $1.2-3.0 \mu\text{M}$  kademeli olarak azalır.

Mevsimsel bulgulardan hesaplanan ortalama ÇOP konsantrasyonu  $0.15 \mu\text{M}$ 'dir. Bu bölgenin geniş ve sığ kıta sahanlığına nehirler ve doğrudan atıksular aracılığı ile fazla miktarlarda inorganik ve organik azot bileşikleri girdiğinden, boğaz üst akıntılarıyla Karadeniz'i terk eden Batı Karadeniz kıyı sularının, açık sulara kıyasla daha yüksek ÇON içermesi doğaldır. Bu nedenle, batı bölgesi için verilen  $18 \mu\text{M}$ 'lik ÇON konsantrasyonu boğaz üst akıntısı için yıllık ortalama değer olarak kabul edilmiştir. Bu değer, birçok yönüyle Karadeniz'e benzeyen Baltık Denizi ve nehir girdilerinin yoğun olduğu diğer denizlerin yüzey suları ortalama ÇON değerleri ile çok uyumludur (Sorokin, 1983).

Tablo 4.2. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinde üst su tabakasında, Marmara girişinde ise tuzlu alt su tabakasına ait yıllık ortalama inorganik ve organik madde konsantrasyonları,  $\mu\text{M}$  (Polat ve Tuğrul, 1995)

| Parametreler                                            | Karadeniz-Üst Tabaka Suyu Yıllık Ortalama değerleri ( $\mu\text{M/l}$ ) | Marmara-alt Tabaka Suyu Yıllık Ortalama değerleri ( $\mu\text{M/l}$ ) |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| ÇİP ( $\text{PO}_4\text{-P}$ )                          | 0.18                                                                    | 1.01                                                                  |
| PP                                                      | 0.17                                                                    | 0.05                                                                  |
| ÇOP                                                     | 0.15                                                                    | 0.05                                                                  |
| TP                                                      | 0.50                                                                    | 1.11                                                                  |
| $\text{NH}_4\text{-N}$                                  | 0.5                                                                     | 0.2                                                                   |
| $\text{NO}_3\text{+NO}_2\text{-N}$                      | 1.6                                                                     | 9.5                                                                   |
| ÇİN ( $\text{NH}_4\text{+ NO}_3\text{+NO}_2\text{-N}$ ) | 2.1                                                                     | 9.7                                                                   |
| PON                                                     | 2.4                                                                     | 0.4                                                                   |
| ÇON                                                     | 18.0                                                                    | 3.0                                                                   |
| TN                                                      | 22.5                                                                    | 13.1                                                                  |
| ÇOK                                                     | 191.0                                                                   | 73.0                                                                  |
| POK                                                     | 21.0                                                                    | 5.2                                                                   |
| TOK                                                     | 212.0                                                                   | 78.2                                                                  |

Boğaz üst akıntısında ölçülen çözünmüş organik karbon (ÇOK) değerlerindeki mevsimsel değişim, inorganik nütrientlerle gözlenen salınımlara kıyasla daha azdır (Polat ve Tuğrul, 1995). Bunun nedeni, Karadeniz yüzey sularının, nehirlerle taşınan karasal (kirlilik+doğal) kaynaklı ve biyokimyasal bozunmaya dirençli fazla miktarlarda organik madde içermesidir. 1987-1992 yılları arasında mevsimsel sıklıkla yapılan partikül organik karbon (POK) ölçümlerinin yıllık ortalaması  $21\mu\text{M}$ 'dir.

İstanbul Boğaz su kalitesi Karadeniz üst suyunda ve Marmara denizi akıntı suyu yapılan ölçümler sonucunda belirlenmiştir. Mevsimsel salınımlar da göz önünde bulundurularak ortalama ölçüm sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir. Tablo 4.2'de görüldüğü üzere, Karadeniz'den Marmara'ya giren az tuzlu sular, Marmara alt sularına kıyasla daha fazla

Partiküler Organik Karbon, Çözülmüş Organik Karbon ve Organik Azot içermektedir. Marmara suları ise inorganik besi maddelerince (orta-fosfat ve nitrat) zengindir (Polat ve Tuğrul, 1995).

#### 4.3 İstanbul Boğazı'nda Yapılan Kirlilik Ölçümleri

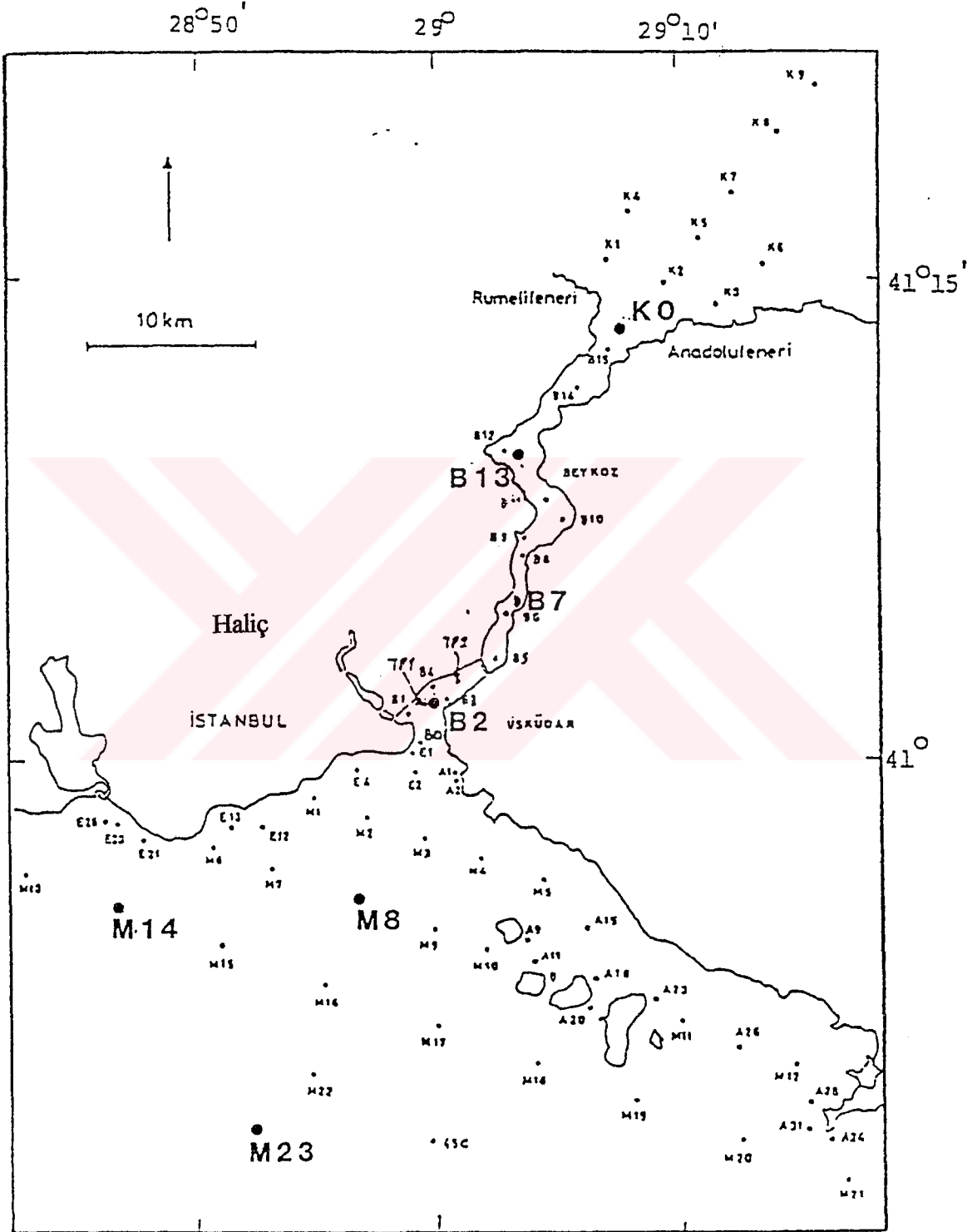
İstanbul Boğazı'nda akım sistemi, Karadeniz ve Marmara denizi arasındaki seviye farkı ve bu iki deniz arasındaki yoğunluk farkından meydana gelir. Bu akım sistemini oluşturan denizlerin suları birbiriyle yer değiştirmektedir. İstanbul Boğazı'nda meydana gelen kirlenme bu akımı oluşturan iki denizde meydana gelen kirlenmeden kaynaklandığı gibi, boğazın alt tabanından yapılan derin deniz deşarjları, üst tabakaya karışan yüzeysel sulardaki kirletici maddeler, boğaz trafiğinin yoğunluğu sebebiyle meydana gelen deniz kazaları ve deniz taşımacılığı yapan gemilerden kaynaklanmaktadır.

Karadeniz, İstanbul Boğazı ve Marmara denizinde kirlenme seviyesini belirlemek için belirli noktalarda ölçüm istasyonları belirlenmiştir. Bu istasyonlarda geçmiş yıllarda bir çok araştırmacı mevcut denizlerin ve boğazın kirlilik durumlarını incelemiştir. Ölçüm noktalarını gösteren harita Şekil 4.2.de gösterilmiştir. En son 1996-1997 yılı için aylık periyotlar şeklinde su kalitesi izleme çalışmaları İSKİ yönetiminde yapılmıştır. Her iki tabakaya ait orto fosfat ve toplam azot değerleri tablo 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 halinde sunulmuştur (İSKİ, 1997). Bu verilere bağlı olarak alt ve üst tabakada aylara göre her bir istasyondaki değişimler ve boğaz boyunca aylık konsantrasyon değişimleri grafik şeklinde gösterilmiştir. Son yıllarda İstanbul Boğazı'nda deniz taşımacılığının artması ve önem kazanması sonucunda meydana gelen deniz kazaları İstanbul Boğazı'nın kirlenmesinde önemli sebeplerden birisidir.

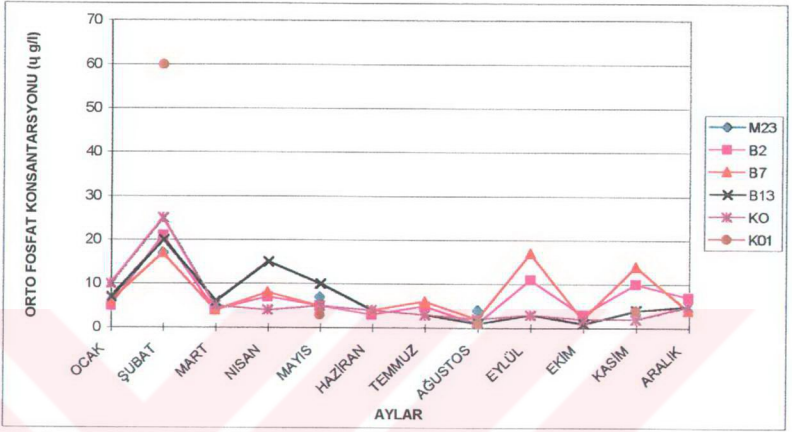
İstanbul Boğazı'nda üst tabakasında 5 m derinlikte yapılan orto fosfat ölçümleri değerleri Tablo 4.3.verilmiştir. Bu değerler iki ayrı grafik şeklinde Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekil 4.3'de aylara göre orto fosfat konsantrasyonları değişimi gösterilmiştir. Buna göre en yüksek orto fosfat konsantrasyonu Şubat, Eylül ve Kasım aylarında tespit edilmiştir ve sırasıyla bu değerler 60 µg/l, 17 µg/l, 14 µg/l'dir. En düşük orto fosfat değeri Ağustos ve Ekim aylarında 1 µg/l olarak ölçülmüştür. Şekil 4.4'de de boğaz boyunca aylık orto fosfat değişimi görülmektedir. Buna göre K01 istasyonunda Şubat ayında 60 µg/l olan orto fosfat konsantrasyonu boğaz boyunca bir azalma göstermiş ve M23 te 18 µg/l olarak ölçülmüştür. Buna göre Boğaz boyunca Karadeniz'den Marmara'ya orto fosfat taşınımında Ocak, Şubat, Mart, Haziran, Ağustos aylarında azalma, Nisan, Temmuz, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık aylarında bir artış olduğu görülmüştür.

Tablo 4.3. İstanbul Boğazı'nda belirli istasyonlarda 5 m derinlikte ölçülen orto fosfatın aylara göre dağılımı (µg/l) (İSKİ, 1997)

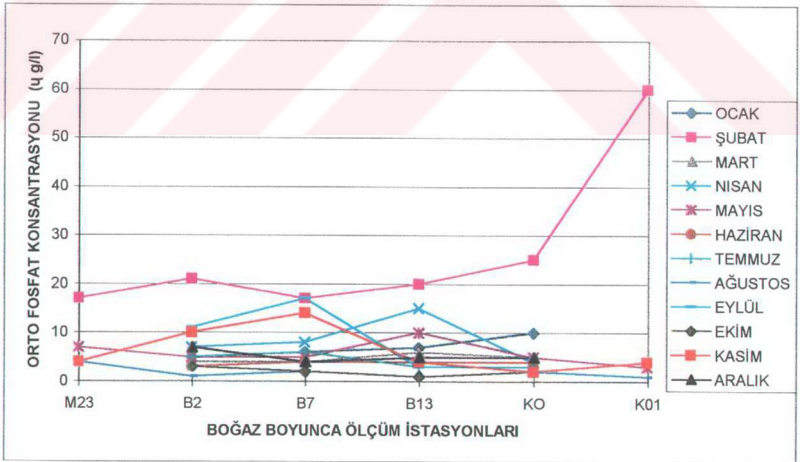
|         | İSTASYONALAR |    |    |     |    |     |
|---------|--------------|----|----|-----|----|-----|
| AYLAR   | M23          | B2 | B7 | B13 | K0 | K01 |
| OCAK    |              | 5  | 6  | 7   | 10 |     |
| ŞUBAT   | 17           | 21 | 17 | 20  | 25 | 60  |
| MART    |              | 4  | 4  | 6   | 5  |     |
| NISAN   |              | 7  | 8  | 15  | 4  |     |
| MAYIS   | 7            | 5  | 5  | 10  | 5  | 3   |
| HAZİRAN |              | 3  | 4  | 4   | 4  |     |
| TEMMUZ  |              | 5  | 6  | 3   | 3  |     |
| AĞUSTOS | 4            | 1  | 2  | 1   | 2  | 1   |
| EYLÜL   |              | 11 | 17 | 3   | 3  |     |
| EKİM    |              | 3  | 2  | 1   | 2  |     |
| KASIM   | 4            | 10 | 14 | 4   | 2  | 4   |
| ARALIK  |              | 7  | 4  | 5   | 5  |     |



Şekil 4.2. İstanbul Boğazı'ndaki ölçüm istasyonlarının konumları



Şekil 4.3. İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen orto fosfat konsantrasyonlarının aylara göre değişimi



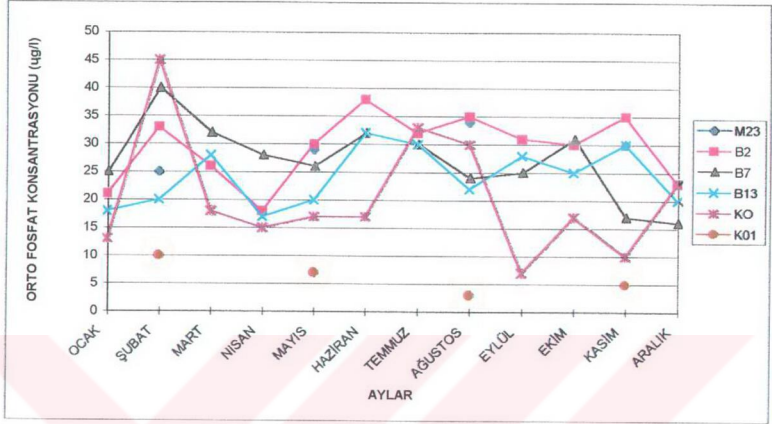
Şekil 4.4. İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen orto fosfat konsantrasyonlarının boğaz boyunca ölçüm istasyonlarındaki değişimi

İstanbul Boğazı'nda belirlenmiş ölçüm istasyonlarında alt tabakada 50 m derinlikte ölçüle orto fosfat konsantrasyon değerleri Tablo 4.4'te verilmiştir. Buradaki ölçüm değerle Marmara Denizi'nin kirlilik seviyesine bağlı olduğu gibi Ahırkapı, Üsküdar, ve Baltalimanı arıtma tesislerinden deşarj edilen atıksudaki fosfordan da etkilenmektedir. Aylara göre orto fosfat değerleri dağılımı Şekil 4.5'deki gibidir. Buna göre Şubat ayında 45 µg/l ile K istasyonun da en yüksek değere ulaşmıştır. Ağustos ayı içinde ise K01 istasyonunda 3 µg/l y düşmüştür. Tablo 4.4'den görüldüğü gibi K01 istasyonu değerleri diğer istasyonlara nazara daha düşüktür. Bunun sebebi Marmara Denizi'ndeki orto fosfat değeri boğaz boyunca azalmakta Karadeniz'e girdiğinde iyice seyrelmektedir. Bundan dolayı K01 istasyonundaki ölçümlerin yıllık ortalamaları M23 istasyonundaki ölçümlerine yıllık ortalamalarından daha düşük çıkmıştır.

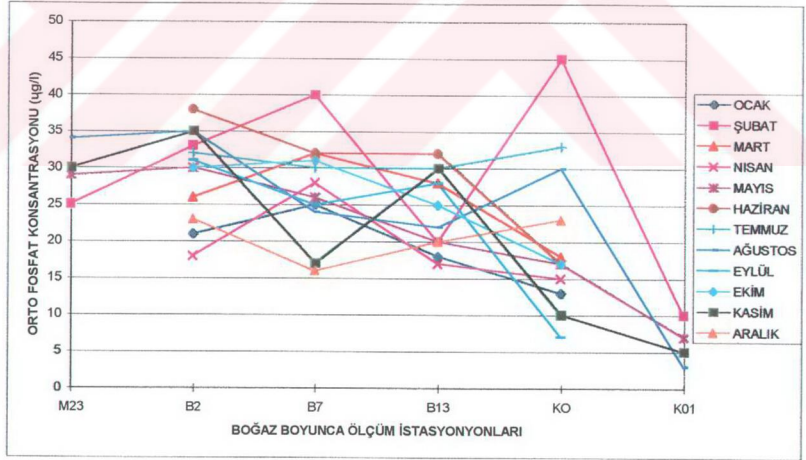
Şekil 4.6'da boğaz boyunca 50 m derinlikteki orto fosfat değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.6'da da görüldüğü gibi boğaz girişindeki B2 istasyonu ölçüm değerlerinin K0 boğaz çıkışı istasyonu değerlerine nazaran yüksek olduğu gözlenmiştir. Buna göre B2'den K0 istasyonuna doğru bir azalmanın olduğu söylenebilir.

Tablo 4.4. İstanbul Boğazı'nda belirli istasyonlarda 50m derinlikte ölçülen orta-fosfatın aylar göre dağılımı (µg/l) (İSKİ, 1997).

| AYLAR   | İSTASYONALAR |    |    |     |    |     |
|---------|--------------|----|----|-----|----|-----|
|         | M23          | B2 | B7 | B13 | K0 | K01 |
| OCAK    |              | 21 | 25 | 18  | 13 |     |
| ŞUBAT   | 25           | 33 | 40 | 20  | 45 | 10  |
| MART    |              | 26 | 32 | 28  | 18 |     |
| NISAN   |              | 18 | 28 | 17  | 15 |     |
| MAYIS   | 29           | 30 | 26 | 20  | 17 | 7   |
| HAZİRAN |              | 38 | 32 | 32  | 17 |     |
| TEMMUZ  |              | 32 | 30 | 30  | 33 |     |
| AĞUSTOS | 34           | 35 | 24 | 22  | 30 | 3   |
| EYLÜL   |              | 31 | 25 | 28  | 7  |     |
| EKİM    |              | 30 | 31 | 25  | 17 |     |
| KASIM   | 30           | 35 | 17 | 30  | 10 | 5   |
| ARALIK  |              | 23 | 16 | 20  | 23 |     |



Şekil 4.5. İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen orto fosfat konsantrasyonlarının aylara göre değişimi

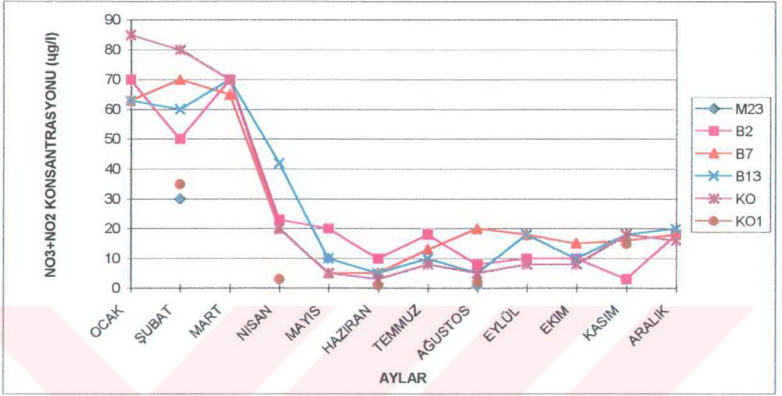


Şekil 4.6. İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen orto fosfat konsantrasyonlarının boğaz boyunca ölçüm istasyonlarındaki değişimi

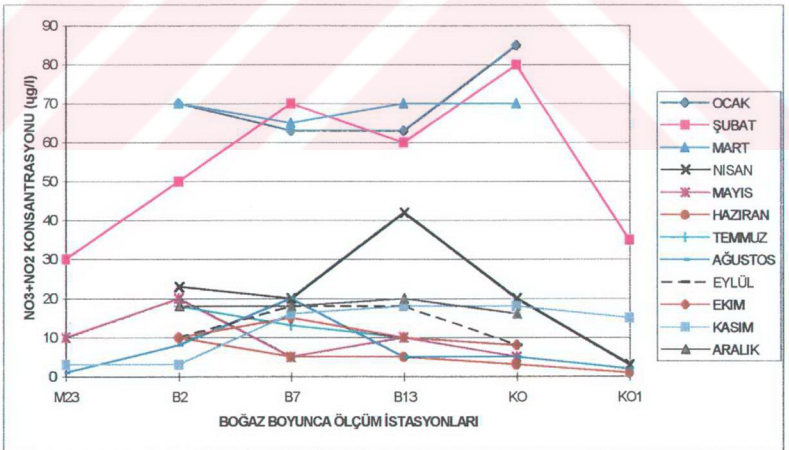
İstanbul Boğazı'nda üst tabakasında 5m derinlikte yapılan  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  ölçümleri sonuçları Tablo 4.5'de verilmiştir. Bu değerler grafik şeklinde Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekil 4.7'de aylara göre  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının değişimi gösterilmiştir. Buna göre en yüksek  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  konsantrasyonları Ocak, Şubat ve Mart aylarında K0 istasyonunda görülmüştür. Bunları sırasıyla değerleri 85  $\mu\text{g/l}$ , 80  $\mu\text{g/l}$ , 70  $\mu\text{g/l}$ 'dir. En düşük orto fosfat değeri K0 istasyonunda Haziran ve Ağustos aylarında görülmüştür ve bu değerler sırasıyla  $\mu\text{g/l}$  ve 5  $\mu\text{g/l}$ 'dir. Şekil 4.8'de ölçüm istasyonlarında boğaz boyunca yapılan  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  sonuçlarını aylara göre değişimi görülmektedir. Buna göre Ocak ayında K0 istasyonunda ölçülen değer 85  $\mu\text{g/l}$  dan B2 istasyonunda 70  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. Ağustos ayında K0 istasyonunda 5  $\mu\text{g/l}$  dan ve M23 istasyonunda 1  $\mu\text{g/l}$  olarak  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  ölçülmüştür.

Tablo 4.5. İstanbul Boğazı'nda Belirli İstasyonlarda 5m Derinlikte Ölçülen  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$ 'nin Aylara Göre Dağılımı ( $\mu\text{g/l}$ ) (İSKİ, 1997)

| AYLAR   | İSTASYONLAR |    |    |     |    |     |
|---------|-------------|----|----|-----|----|-----|
|         | M23         | B2 | B7 | B13 | K0 | K01 |
| OCAK    |             | 70 | 63 | 63  | 85 |     |
| ŞUBAT   | 30          | 50 | 70 | 60  | 80 | 35  |
| MART    |             | 70 | 65 | 70  | 70 |     |
| NİSAN   |             | 23 | 20 | 42  | 20 | 3   |
| MAYIS   | 10          | 20 | 5  | 10  | 5  |     |
| HAZİRAN |             | 10 | 5  | 5   | 3  | 1   |
| TEMMUZ  |             | 18 | 13 | 10  | 8  |     |
| AĞUSTOS | 1           | 8  | 20 | 5   | 5  | 2   |
| EYLÜL   |             | 10 | 18 | 18  | 8  |     |
| EKİM    |             | 10 | 15 | 10  | 8  |     |
| KASIM   | 3           | 3  | 16 | 18  | 18 | 15  |
| ARALIK  |             | 18 | 18 | 20  | 16 |     |



Şekil 4.7. İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının aylara göre değişimi

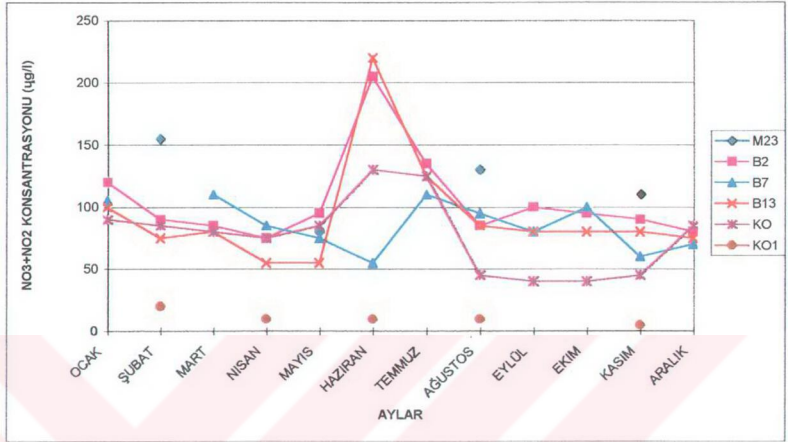


Şekil 4.8 İstanbul boğazında 5 m derinlikte ölçülen  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  konsantrasyonlarının boğaz boyunca ölçüm istasyonlarında değişimi

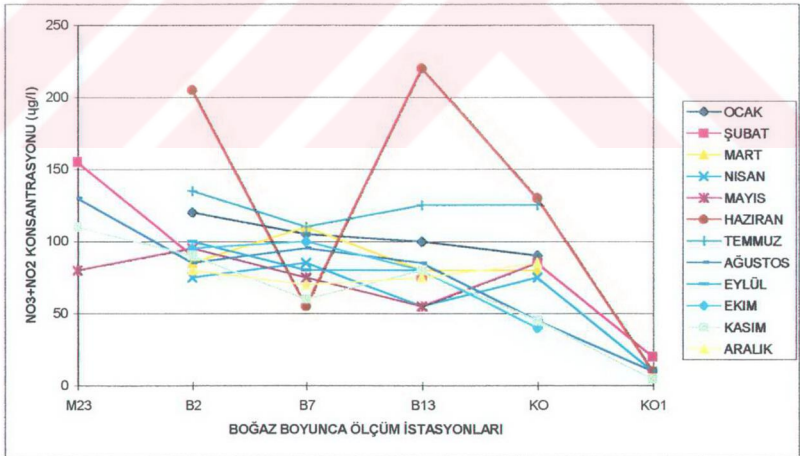
İstanbul Boğazı'nda alt tabakada 50 m derinlikte yapılan toplam azot ölçümleri sonuçları aylara göre dağılımı Tablo 4.6. da verilmiştir. Aylara göre yıl içindeki değişim Şekil 4.9'd gösterilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarına göre en yüksek  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  değerinin Haziran ve Temmuz aylarında yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu aylarda sırasıyla B13 istasyonunda 22  $\mu\text{g/l}$ , B2 istasyonunda 135  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. Eylül ve Ekim aylarında en düşük konsantrasyon değerinin K0 istasyonunda 40  $\mu\text{g/l}$  seviyesinde olduğu görülmüştür. En düşük  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  değeri Kasım ayında K01 istasyonunda 5  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. Şekil 4.10'de is boğaz boyunca  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  B2 istasyonundan K0 istasyonuna azalan değişim gösterdiği görülmektedir. Haziran ayında B2 istasyonunda 205  $\mu\text{g/l}$ , B7 istasyonunda 55  $\mu\text{g/l}$ , B1 istasyonunda 220  $\mu\text{g/l}$  ve K0 istasyonunda 130  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. Karadeniz' ulaştığında 10  $\mu\text{g/l}$  seviyesine ulaşmıştır. Buna göre en yüksek değere sahip olan  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  boğaz boyunca azalma ve artma şeklinde bir salınım göstermiştir. Boğazın alt tabakasında akan suda yüksek konsantrasyonda  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  Karadeniz Boğaz girişinde tabanda seyrelmekte ve K01 değeri B2 değerinden düşük olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.6. İstanbul Boğazı'nda Belirli İstasyonlarda 50m Derinlikte Ölçülen  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  Aylar Göre Dağılımı ( $\mu\text{g/l}$ )

| AYLAR   | İSTASYONLAR |     |     |     |     |     |
|---------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|         | M23         | B2  | B7  | B13 | K0  | K01 |
| OCAK    |             | 120 | 105 | 100 | 90  |     |
| ŞUBAT   | 155         | 90  |     | 75  | 85  | 20  |
| MART    |             | 85  | 110 | 80  | 80  |     |
| NİSAN   |             | 75  | 85  | 55  | 75  | 10  |
| MAYIS   | 80          | 95  | 75  | 55  | 85  |     |
| HAZİRAN |             | 205 | 55  | 220 | 130 | 10  |
| TEMMUZ  |             | 135 | 110 | 125 | 125 |     |
| AĞUSTOS | 130         | 85  | 95  | 85  | 45  | 10  |
| EYLÜL   |             | 100 | 80  | 80  | 40  |     |
| EKİM    |             | 95  | 100 | 80  | 40  |     |
| KASIM   | 110         | 90  | 60  | 80  | 45  | 5   |
| ARALIK  |             | 80  | 70  | 75  | 85  |     |



Şekil 4.9 İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının aylara göre değişimi



Şekil 4.10 İstanbul boğazında 50 m derinlikte ölçülen NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının boğaz boyunca ölçüm istasyonlarında değişimi

#### 4.4. İstanbul Boğazı'nda Uygulana 3D Modelin Tanımlanması

İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) İstanbul bölgesinden kaynaklanan atıksuları içi mastır planı uygulaması DHI'ya yaptırılmıştır. Bu çalışma, ileride atıksu arıtma seviyesini belirlenmesi ve artırılmış suyun kıyı çevresindeki etkisinin değerlendirmelerini içine alır.

Bu çalışmanın amacı, ileride atıksu deşarjı için Marmara denizi, İstanbul boğazı ve Karadeniz Boğaza yakın çevresinde kıyı ekosisteminde meydana gelecek etkileri değişik modellerle kullanarak değişik su kalitesini tahmin etmektir.

İSKİ, İstanbul boğazı bölgesinde, Mastır planı çerçevesinde, Danimarka Hidrolik Enstitüsü'n (DHI) İstanbul Boğazı kıyı çevresinde, atıksu etkilerini 3D modeli uygulayarak incelemiştir.

Farklı deşarjların etkilerini içeren 3D dinamik hesap modeli uygulamaları şunları içermektedir;

- Mevcut akımın hidrodinamik simülasyon tasarım periyotlarına göre genelleştirilmesi ve arazide tabakalaşma ve karışım durumlarının incelenmesi.
- Farklı yükleme ve deşarj senaryoları için alıcı ortamda Koliform miktarının simülasyonu.
- BOİ Konsantrasyonun simülasyonu ve farklı yükleme ve deşarj senaryolarında alıcı ortamda çözünmüş oksijen Konsantrasyonun değişimi.
- Farklı yükleme ve deşarj senaryolarında genel ötrofikasyon etkisinin simülasyonu.

3D modelinin İstanbul Boğazına uygulanmasında esas alınan temel parametreler aşağıdaki gibidir.

1. Hidrodinamik 3D Modelinin Kurulması
2. Hidrodinamik Temeller
  - Tasarım periyodunun seçimi
  - Hidrodinamik Simülasyon
  - Model sonuçlarının değerlendirilmesi

3. Su Kalitesi Modülünün Kalibrasyonu
  - Oksijen Modülü
4. Riva Deşarj Alternatifleri
  - K0lifom hesaplaması
  - Boğaza Deşarjın Olumsuz Etkileri
  - Oksijen Etkisi
5. Marmara Denizine Deşarj Alternatifleri
  - Yüzey stratejisine bağlı olarak alt tabaka K0lifom durumları
  - Farklı arıtma şekilleri için oksijen etkisi
6. Marmara denizinde ötröfikasyon

İstanbul boğazının kirlilik durumunun belirlenmesi çalışmalarında phytoplankton büyüme kinetiği ve Fosfor Değişim Modeli daha önce uygulanmamıştır.

## 5. İSTANBUL BOĞAZI'NDA UYGULANAN FOSFOR DEĞİŞİM MODELİNİN TANIMLANMASI

### 5.1. Modele Genel Bakış

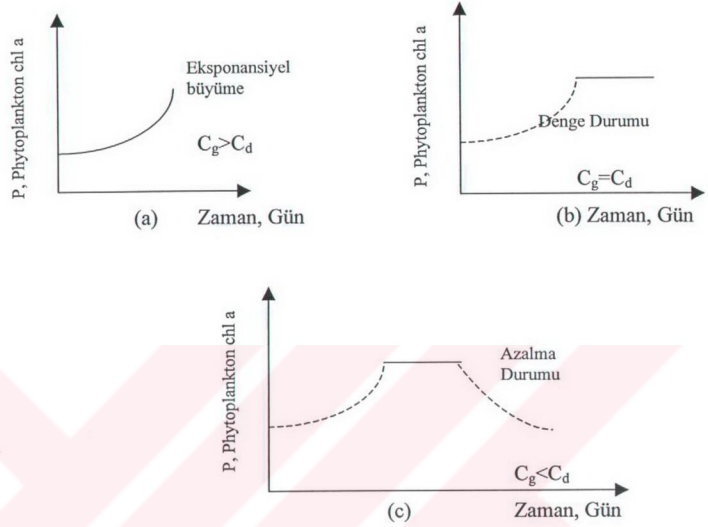
Çeşitli fiziksel-kimyasal işlemler sonucunda su ortamında nütrient, phytoplankton, karbonlu maddeler ve çözünmüş oksijen değerleri, taşınım ve ortamada etkileşim nedeniyle değişim gösterir. Çözünmüş ve çözünmemiş formdaki fosfor sorpsiyon-desorpsiyon yoluyla partiküler inorganik fosfor yeni hücre üretimi için phytoplankton tarafından kullanılır. Phytoplanktonun bünyesindeki fosfor, çözünmüş ve partikül organik fosfora dönüştürülür.

Bu model üç boyutlu dinamik simülasyon için kabul yapılabilir. Model, fosfor ve diğer yedi su kalitesi parametresi simülasyonunda kullanılabilir. Phytoplankton büyüme kinetiği, spesifik büyüme hızı, ölüm hızı, çökme hızı katsayıları ile ifade edilir. Phytoplanktondan kaynaklanan yükleme, fosforun bozunma hızına, çökme hızına, transfer katsayısına, çökelti ile su yüzü arasında konsantrasyon değişimine bağlı olarak belirlenir. Su ortamında inorganik fosfor yüklemesi, içeren ve dışardan meydana gelmektedir. Su içindeki canlılardan kaynaklanan bu tip büyümeyi içeren yükleme, dış etkiler ile oluşan yüklemeyi de dışardan yükleme adı verilir.

### 5.2. Phytoplankton Büyüme Kinetikleri

Phytoplanktonun büyümesi ve ölüm kinetiği denklem 5.1'de ifade edilmiştir. Phytoplankton büyüme tipleri  $C_g$  ve  $C_d$ 'ye bağlı olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Şekil 5.1 üç ayrı durumda zamana bağlı göre değişim gösterilmiştir. Su ortamına kesintisiz besi maddesi girişi olduğunda eksponansiyel bir artış meydana gelir.  $C_g$  ile  $C_d$  eşit olduğunda su ortamında dengede bir büyümenin olduğu söylenebilir.  $C_g$   $C_d$ 'den küçük olduğunda eksponansiyel bir azalma meydana gelir.



Şekil 5.1 Net Büyümede Phytoplanktonun Zamana Bağlı Değişimi  
(a)  $C_g > C_d$ , (b)  $C_g = C_d$ , (c)  $C_g < C_d$

Su ortamında phytoplankton konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi denklem 5.1'de verilmiştir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = C(C_g - C_d - C_s) \quad (5.1)$$

Burada,

C: Phytoplankton konsantrasyonu (mg-C/lt)

$C_g$ : Spesifik büyüme hızı ( $\text{gün}^{-1}$ )

$C_d$ : Ölüm Hızı ( $\text{gün}^{-1}$ )

$C_s$ : Çökme hızı ( $\text{gün}^{-1}$ )

Su ortamında phytoplanktonların büyüme hızı mevcut phytoplanktonun türüne, güneş enerjisine, sıcaklığa ve ortamda kullanıma uygun besin maddesi miktarına bağlıdır. Bu

bileşiklerin her birinin phytoplankton büyümesindeki etkileri laboratuvar tecrübelerden elde edilen bilgiler ile doğrulanmıştır (Di Toro vd., 1971).

Burada  $C_g$  phytoplankton büyüme hızı;

$$C_g = C_{gm} \cdot T_c \cdot I \cdot N \quad (5.2)$$

Bu denklemdaki ifadelerin her biri aşağıdaki bölümlerde tanımlanmıştır.

### 5.2.1. Maksimum büyüme hızı, sıcaklık ve ışığın etkisi

$C_{gm}$ , 20 °C'de optimum sıcaklık ve besi maddesi konsantrasyonunda phytoplanktonun maksimum spesifik büyüme hızı olarak tanımlanır. Birimi  $\text{gün}^{-1}$  olarak ifade edilir.  $C_{gm}$  karışmış phytoplankton topluluğu için ortalama 1.8/gün olarak alınır. Bu değer phytoplanktonun farklı türlerinde 1.5-2.5/gün arasında değişmektedir (Thoman ve Mueller, 1987)

$T_c$ , sıcaklık ayarlama faktörü olarak tanımlanır. Phytoplanktonun büyümesi sıcaklık etkisine bağlıdır. Sıcaklık ile büyüme hızı arasında ki bağıntı Eppley (1972) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Buna göre;

$$T_c = (1.066)^{T-20} \quad (5.3)$$

Su ortamında güneş ışığının dağılımı seviyesi su canlıları tarafından yapılan fotosentez hızı üzerindeki önemli etkisi olduğu gibi renk, suyun estetik kalitesi içinde önemli etkilere sahiptir. Güneş ışınlarının su ortamına girmesinde önemli iki mekanizması güneş ışınlarının absorplanması ve kırılmasıdır. Suda bulunan partiküller ışığı absorbe eder. Işınlara suda yansımaları ve dağılımları ortamda bulunan partiküllerin etkisi sonucu olur. Güneş ışınlarının azalma derecesi suyun içindeki askıda katı maddelere, organik maddelere, phytoplankton gibi yaşayan canlıların mevcudiyetine bağlıdır. Güneş ışınlarının su ortamındaki yoğunluğu canlı organizmaların fotosentezi için çok önemlidir.

$I$ , Işık sınırlama faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır

$$I = \frac{2.718 \cdot f}{K_e \cdot D} (e^{(-\alpha_1)} - e^{(-\alpha_0)}) \quad (5.4)$$

$$I_o = I_a = \frac{I_T}{f} \quad 0 < t < f \quad (5.5)$$

$$\alpha_1 = \frac{I_a}{I_s} e^{(-K_e \cdot D)} \quad (5.6)$$

$$\alpha_o = \frac{I_a}{I_s} \quad (5.7)$$

$K_e$ : Derinliğe bağlı azalma katsayısı ( $m^{-1}$ )

$D$ : Derinlik (m)

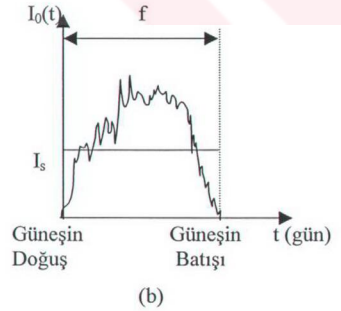
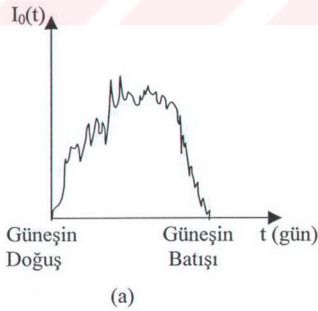
$f$ : Photoperiyot (gün)

$I_T$ : Toplam günlük ışık radyasyonu (ly/gün)

$I_s$ : Işığın doygunluk yoğunluğu (ly/gün)

$I_a$ : Günlük ışık fonksiyonu (ly/gün)

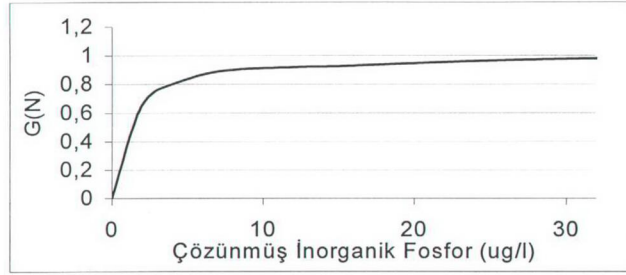
$I_a$  'nın 500-1000 ly/gün arasında olması sonucu  $f$  'nın aralığı 0.1 ile 0.5 arasında olur.



Şekil 5.2 (a) Bulutsuz bir havada bir gün için güneş ışınlarının aktif değişimi (b) Işık doygunluk yoğunluğunun ortalama değeri (Thomann ve Mueller, 1987)

Şekil 5.2'de görüldüğü gibi güneş ışınlarının gelişini güneşin doğuşu ile batışı arasındaki zaman dilinde  $I_0$  'nın bir fonksiyonu olarak görülmektedir.

### 5.2.2. Besi maddesi Etkisi



Şekil 5.3 Büyüme hızında nütrient sınırlama etkisi (Ambrose, 1988)

Phytoplanktonun büyümesinde önemli etkilere birisi ortamda bulunan nütrient seviyesidir. Çözünmüş inorganik fosforun fonksiyonu olarak nütrient sınırlama faktörü N ile gösterilir ve birimi boyutsuzdur. Bunun yanında ışık ve sıcaklığın optimum seviyesi büyüme hızını etkileyen önemli etmenlerden birisidir. Bu etkinin sonucu olarak Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Nütrient seviyesi sıfır olduğunda büyüme olmayacaktır. Besi maddesi seviyesi artmaya başladığında büyüme artacaktır. Buna göre Phytoplankton büyüme kinetiğinde spesifik büyüme hızı ifadesinde bulunan N değeri Şekil 5.3 grafikten okuma yapılarak belirlenir.

### 5.2.3. Phytoplankton ölüm kinetiği

Phytoplankton kinetiğinin diğer ifadelerinden birisi plankton ölüm hızıdır. Kısaca  $C_d$  ile gösterilir temel tanımlanması şu şekildedir.

1. Phytoplanktonda İçsel solunum hızı, phytoplankton birim karbon ağırlığının organik karbondan  $CO_2$  oksitlenmesidir.
2. Zooplankton üretimi veya Phytoplankton kendi içinde kullanımı

Ölüm hızı;

$$C_d = E_r + D_{pr} + G \cdot Z \quad (5.8.)$$

şeklinde hesaplanabilir.  $E_r$  sıcaklığı düzeltilmiş içsel solunum hızı aşağıdaki ifade ile hesaplanır. Buna göre;

$$E_r = r \cdot (1.08)^{T-20} \quad (5.9.)$$

$E_r$ 'nin birimi  $\text{gün}^{-1}$  ve sıcaklık (T) ise  $^{\circ}\text{C}$  olarak denklemde kullanılır ve r 0.05 ile 0.25/gün arasında bir değer alınır (Thomann vd, 1974)

$D_{pr}$ : Parazit ve toksik maddeler ile sebep olunan ölüm hızı ( $\text{gün}^{-1}$ )

G: Zooplanktonun kullanım hızı (litre/mg karbon/gün)

Z: Karbon hacminde eşdeğer zooplankton konsantrasyonu (mg-C/l)

Tablo 5.1. Zooplankton Kullanım Hızı Oranı (Di Toro vd., 1971; Thomann vd., 1974).

| Organizma ve Yer                            | Kullanım Hızı (G) (l/gün mg zoopl C) |
|---------------------------------------------|--------------------------------------|
| Rotifer (0.1 $\mu\text{g}$ )                | 1.5-4                                |
| Copepod ve Cladoceran (1-10 $\mu\text{g}$ ) | 2-5                                  |
| Georges Kıyısı                              | 2-3                                  |
| Ontario Gölü                                | 1.5-3                                |

Yapılan bir çok çalışmanın sonucunda zooplankton kullanım hızının Tablo 5.1'da özetlenmiştir (Di Toro vd., 1971; Thomann vd., 1974).

Denklemde çökelme hızı;

$$C_s = \frac{V}{D} \quad (5.9)$$

birimi  $\text{gün}^{-1}$ 'dir.

V: Phytoplankton net çökme hızı (m/gün).

D: Modelde kullanılan su ortamının derinliği (m)

Phytoplankton çökmesi, göllerde ve okyanus sularında ölen phytoplankton dağılımı için önemlidir. Yayınlanan değerlere göre phytoplankton çökme hızı 0.07-18 m/gün (EPA, 1988) olarak belirlenmiştir. Phytoplankton çökme hızı sıfır veya negatif olabilir. Tabii sularda mevcut çökme dikey karışım, yoğunluk farkı, phytoplanktonun farklı türlerine bağlı fiziksel yapıya göre karmaşık bir yapı oluşturmaktadır. Phytoplanktonun etkili çökme hızı sığ yerlerde azalmasına rağmen, iyi karışımlı nehir ve körfezlerde dikey karışım alg sayısının tüm ölenleri dahil edilebilir.

Ötrofikasyon olayında kütle dengesi formüllerinin yazılmasında besi maddesi kullanma kinetiği alg büyümesi ile bağlantılıdır. Nütrienti kullanma dengesi besi maddesini alma ve üretilen alg miktarı ile ilişkilidir. Biyokütlede birim kütlede karbon miktarı, azot ve fosfor oranıyla ilişkilidir. Yapılan Potomac koyu çalışmasında kullanılan reaksiyon hızı terimleri deneysel çalışmalar sonunda karbon/azot ve karbon/nitrat oranları Tablo 5.2'de verilmiştir

Tablo 5.2 Fosfor-karbon ve azot-karbon oranları(Ambrose, 1988)

| Numune Alma Aralığı     | Fosfor(mg P)/Karbon (mg C) |                 | Azot (mg N)/Karbon (mg C) |                 |
|-------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|
|                         | Gözlenen Ortalama          | Gözlenen Aralık | Gözlenen Ortalama         | Gözlenen Aralık |
| 20 Haziran-6 Ekim 1970* | 0.023                      | 0.010-0.046     | 0.26                      | 0.10-0.48       |
| 1-29 Ağustos 1977**     | 0.024                      | 0.012-0.028     | 0.24                      | 0.15-0.36       |
| 7-28 Eylül 1978**       | 0.030                      | 0.017-0.047     | 0.26                      | 0.18-0.35       |
| 7-28 Eylül 1978***      | 0.031                      | -               | 0.26                      | -               |

\* Mavi yeşil alg analizi

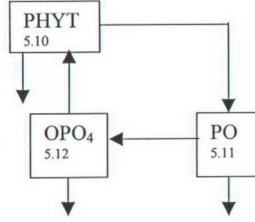
\*\* Bütün phytoplankton topluluğunun laboratuvar temel analizi

\*\*\* Arazi verilerine bağlı kalarak hücre yapısının tahmini

### 5.3.Fosfor Dönüşümü

Organik fosfor çözünmüş ve partikül olarak ikiye ayrılır. Şekil 5.4'de fosfor-phytoplankton çevriminin şematik gösterimi yapılmıştır. Şekil 5.4'den de anlaşıldığı gibi phytoplanktonun bir kısmı organik fosfora dönüşür, diğer kısmı çöker. Organik fosforun

bir kısmı inorganik fosfora dönüşür ve bunun bir kısmı phytoplankton tarafından kullanılır diğer kısmı da çöker. Alg yeni hücre oluşumunda inorganik formdaki fosforu kullanır. İnorganik fosfor değişen oranlarda partikül ve çözünmüş olarak ikiye ayrılır.



Şekil 5.4 Fosfor-Phytoplankton Çevrimi (Ambrose, 1988)

Fosfor dönüşümü hesabında phytoplankton, organik ve inorganik fosforu içine alan üç ayrı denklemin seri bir şekilde kullanılması sonucunda elde edilir. Denklem 5.10'da  $C_g$ ,  $C_d$ ,  $C_s$  sabitleri kullanılarak zamana bağlı kalarak phytoplankton konsantrasyon değeri hesaplanır. Burada hesaplanan klorofil konsantrasyonu 5.11 denkleminde yerine konarak ve gerekli sabitler kullanılarak phytoplanktondan oluşan organik fosfor konsantrasyonu bulunur. Burada bulunan bu değer denklem 5.12 yerine konarak son ifade olan inorganik fosfor konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi elde edilir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = C_g \cdot C - C_d \cdot C - C_s \cdot C \quad (5.10)$$

(Büyüme)      (Ölüm)      (Çökelme)

$$\frac{\partial OP}{\partial t} = C_d \cdot a_{pc} \cdot f_{op} \cdot C - P_m \cdot \theta_{pm}^{T-20} \cdot \left( \frac{C}{h+C} \right) \cdot OP - \frac{V_o \cdot (1-f_{dop})}{D} \cdot OP \quad (5.11)$$

(ölüm)      (Minerilizasyon)      (Çökelme)

$$\frac{\partial IP}{\partial t} = C_d \cdot a_{pc} \cdot (1-f_{op}) \cdot C + P_m \cdot \theta_{pm}^{T-20} \cdot \left( \frac{C}{h+C} \right) \cdot OP - C_g \cdot a_{pc} \cdot C \quad (5.12)$$

(ölüm)      (Minerilizasyon)      (Büyüme)

Tablo 5.3 Parametrelerin kullanım aralıkları

| Parametre     | Birim       | Değişim Aralığı |
|---------------|-------------|-----------------|
| $C_{gm}$      | $gün^{-1}$  | 1.5-2.5         |
| $T_c$         | -           | $1.066^{T-20}$  |
| I             | -           | 0.1-0.5         |
| N             | -           | 0-1             |
| r             | $gün^{-1}$  | 0.05-0.25       |
| $D_{pt}$      | $gün^{-1}$  | 0.02            |
| G             | lt/mg C/gün | 0.1-1.5-3       |
| Z             | mgC/l       | 1               |
| V             | m/gün       | 0.07-18         |
| D             | m           | 0.1-30          |
| $a_{pc}$      | mg-P/mg-C   | 0.025-0.031     |
| $P_m$         | $gün^{-1}$  | 0.22            |
| $f_{op}$      | -           | 0.5             |
| $\theta_{Pm}$ | -           | 1.08            |
| h             | mg C/l      | 1               |
| $V_o$         | m/gün       | 0.1-0.3         |
| $f_{dop}$     | -           | 0.5-0.8         |

$a_{pc}$ : Fosforun karbon oranı (mg-P/mg-C),

OP: Organik fosfor konsantrasyonu (mg/l)

$P_m$ : 20 °C de organik fosfor minerilizasyonu ( $gün^{-1}$ )

$f_{op}$ : ölüm oranı ve solunum yapan phytoplanktonun organik fosfora dönüştürülmesi

$\theta_{Pm}$ :  $P_m$  için sıcaklık düzeltme katsayısı

h: Fosforun Phytoplankton dönüşümünü sınırlayan yarılanma sabiti (mg C/l)

$V_o$ : Organik madde çökelme hızı (m/gün)

$f_{dop}$ : Çözülmüş organik fosfor fraksiyonu

IP: İnorganik fosfor konsantrasyonu (mg/l)

Su ortamında çözülmüş inorganik fosfor ile askıda partikül madde arasında adsorpsiyon-desorpsiyon vardır. Sorblanan inorganik fosfor ile beraber askıda katı maddenin sonradan çökmesi su ortamında önemli azalma mekanizmasıdır ve bu olay sediment fosforun kaynağıdır.

## 6. FOSFOR DEĞİŞİM MODELİNİN UYGULANMASI

### 6.1. Phytoplanktondan Fosfor Dönüşümünde Yararlanılan Parametrelerin Elde Edilmesi

Phytoplanktondan meydana gelen inorganik fosfor konsantrasyonunun bulunmasında beşinci bölümde verilen denklem 5.10, 5.11, 5.12'den yararlanılmıştır. Bu denklemler excel programı vasıtasıyla zamana bağlı olarak seri şekilde çözümlenmiştir. 1996 yılı her ay için inorganik fosfor değişim grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerin elde edilmesinde formülde kullanılan değerler literatürden ve EPA'nın yayınlamış olduğu değerlerden alınmıştır. Tablo 6.1'de fosfor dönüşümü denkleminde kullanılan her bir parametrenin değerleri verilmiştir. Burada C, T<sub>c</sub>, I, N, r, T değerleri ortama uygun değişik kullanılarak her ay için boğaz boyunca değişim grafikleri çizdirilmiştir.

Phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu fosfor değişim modeli yardımı ile hesaplanmıştır. Fosfor dönüşüm modelinde mesafe olarak Karadeniz Boğaz girişindeki K0 istasyonu ile Marmara denizi Boğaz girişindeki B2 istasyonları arası alınmıştır. Üst tabaka kalınlığı ortalama 20 m alınmış ve modelde 5 m su derinliği için uygulanmıştır. Modeldeki phytoplankton konsantrasyonu K0 istasyonunda 5 m derinlikte ölçüm değerlerinden alınmıştır.

Bu modelde kullanılan her bir parametre dipnot belirtilen kaynaklardan alınmıştır. Bu değerler laboratuvar ve yerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. Bu çalışmada, literatürde yayınlanan değerler kullanıldığı gibi İstanbul Boğazı'nda yapılan su kalitesi izleme çalışmalarında elde edilen değerlerde kullanılmıştır.

Tablo 6.1. İstanbul Boğazı'nda fosfor döñtüřüm modelinde kullanılan değerler

| Parametre       | Birim             | Ocak        | şubat       | Mart        | Nisan       | Mayıs       | Haziran     |
|-----------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $C^1$           | mg-C/l            | $3.10^{-4}$ | $3.10^{-4}$ | $3.10^{-4}$ | $3.10^{-4}$ | $3.10^{-4}$ | $8.10^{-4}$ |
| $C_{gm}^2$      | gün <sup>-1</sup> | 1.8         | 1.8         | 1.8         | 1.8         | 1.8         | 1.8         |
| $T_c^2$         | -                 | 0.3596      | 0.3596      | 0.3373      | 0.4356      | 0.5997      | 1.2113      |
| $I^2$           | -                 | 0.1         | 0.2         | 0.2         | 0.2         | 0.2         | 0.3         |
| $N^3$           | -                 | 0.85        | 0.93        | 0.80        | 0.90        | 0.90        | 0.90        |
| $I^2$           | -                 | 0.15        | 0.15        | 0.15        | 0.15        | 0.15        | .16         |
| $D_{pt}^3$      | gün <sup>-1</sup> | 0.20        | 0.20        | 0.20        | 0.20        | 0.20        | 0.20        |
| $G^3$           | lt/mg C/gün       | 2           | 2           | 2           | 2           | 2           | 2           |
| $Z^3$           | mgC/l             | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |
| $V^3$           | m/gün             | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         |
| $D$             | m                 | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           | 5           |
| $a_{pc}^3$      | mg-P/mg-C         | 0.025       | 0.025       | 0.025       | 0.025       | 0.025       | 0.025       |
| $T^1$           | °C                | 4           | 4           | 3           | 7           | 12          | 23          |
| $P_m^2$         | gün <sup>-1</sup> | 0.22        | 0.22        | 0.22        | 0.22        | 0.22        | 0.22        |
| $f_{op}^3$      | -                 | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         |
| $\theta_{pm}^2$ | -                 | 1.08        | 1.08        | 1.08        | 1.08        | 1.08        | 1.08        |
| $h^3$           | mg C/l            | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           | 1           |
| $Vo^2$          | m/gün             | 0.3         | 0.3         | 0.3         | 0.3         | 0.3         | 0.3         |
| $f_{dop}^2$     | -                 | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         | 0.5         |

<sup>1</sup> Su Kalitesi İzleme Çalışması Sonuç Raporu 1997, İSKİ<sup>2</sup> Principles of Surface Water Quality Modeling And Control, Volume 7, pp385,1987<sup>3</sup> WASP4.A Hydrodynamic and Water Quality Model,-EPA, January 1988

Tablo 6.1'in Devamı

| Parametre       | Birim             | Temmuz      | Ağustos     | Eylül        | Ekim         | Kasım        | Aralık      |
|-----------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| $C^1$           | mg-C/l            | $8.10^{-4}$ | $8.10^{-4}$ | $18.10^{-4}$ | $18.10^{-4}$ | $18.10^{-4}$ | $3.10^{-4}$ |
| $C_{gm}^2$      | gün <sup>-1</sup> | 1.8         | 1.8         | 1.8          | 1.8          | 1.8          | 1.8         |
| $T_c^2$         | -                 | 1.2113      | 1.2913      | 0.8255       | 0.7721       | 0.6814       | 0.5599      |
| $I^2$           | -                 | 0.3         | 0.3         | 0.3          | 0.3          | 0.2          | 0.2         |
| $N^3$           | -                 | 0.85        | 0.60        | 0.50         | 0.50         | 0.50         | 0.60        |
| $r^2$           | -                 | 0.16        | 0.16        | 0.16         | 0.15         | 0.15         | 0.15        |
| $D_{pt}^3$      | gün <sup>-1</sup> | 0.20        | 0.20        | 0.20         | 0.20         | 0.20         | 0.20        |
| $G^3$           | lt/mg C/gün       | 2           | 2           | 2            | 2            | 2            | 2           |
| $Z^3$           | mgC/l             | 1           | 1           | 1            | 1            | 1            | 1           |
| $V^3$           | m/gün             | 0.5         | 0.5         | 0.5          | 0.5          | 0.5          | 0.5         |
| $D$             | m                 | 5           | 5           | 5            | 5            | 5            | 5           |
| $a_{pc}^3$      | mg-P/mg-C         | 0.025       | 0.025       | 0.025        | 0.025        | 0.025        | 0.025       |
| $T^1$           | °C                | 24          | 24          | 17           | 16           | 14           | 12          |
| $P_m^2$         | gün <sup>-1</sup> | 0.22        | 0.22        | 0.22         | 0.22         | 0.22         | 0.22        |
| $f_{op}^3$      | -                 | 0.5         | 0.5         | 0.5          | 0.5          | 0.5          | 0.5         |
| $\theta_{Pm}^2$ | -                 | 1.08        | 1.08        | 1.08         | 1.08         | 1.08         | 1.08        |
| $h^3$           | mg C/l            | 1           | 1           | 1            | 1            | 1            | 1           |
| $Vo^2$          | m/gün             | 0.3         | 0.3         | 0.3          | 0.3          | 0.3          | 0.3         |
| $f_{dop}^2$     | -                 | 0.5         | 0.5         | 0.5          | 0.5          | 0.5          | 0.5         |

## 6.2.Boğaz Boyunca İnorganik Fosfor Dönüşüm Grafikleri

1996 yılı Ocak ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.027\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %81'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.005\mu\text{g/l}$ 'ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.

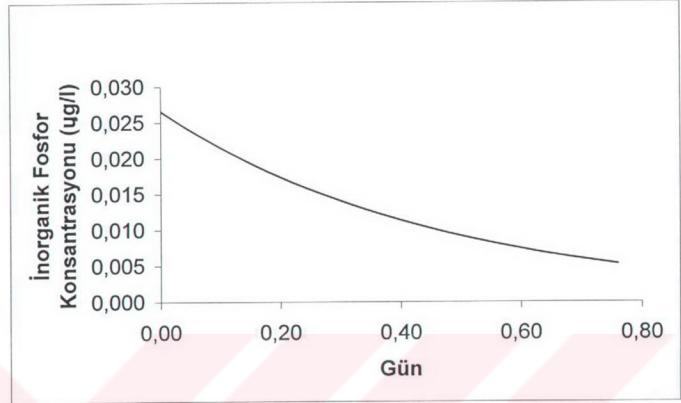
1996 yılı Şubat ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.026\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %80'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.005\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.2'de verilmiştir.

1996 yılı Mart ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.025\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %80'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.005\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.3'de verilmiştir.

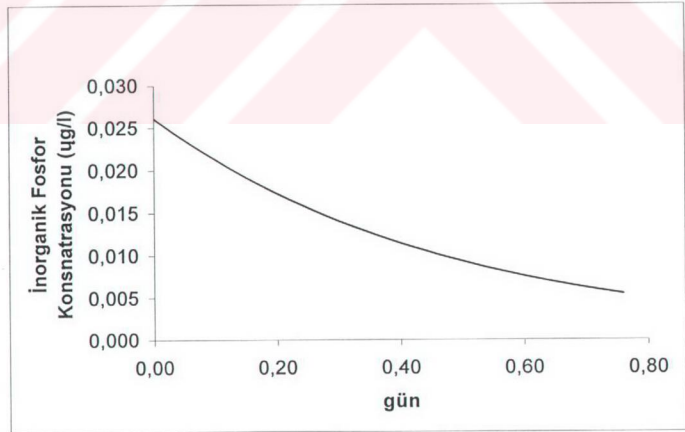
1996 yılı Nisan ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.031\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %79'luk bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.0065\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.4'de verilmiştir.

1996 yılı Mayıs ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.041\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %78'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.009\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.5'de verilmiştir.

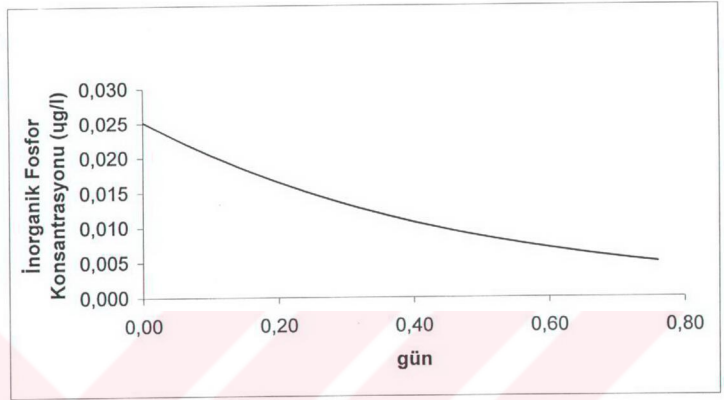
1996 yılı Haziran ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.188\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %75'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.047\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.6'de verilmiştir.



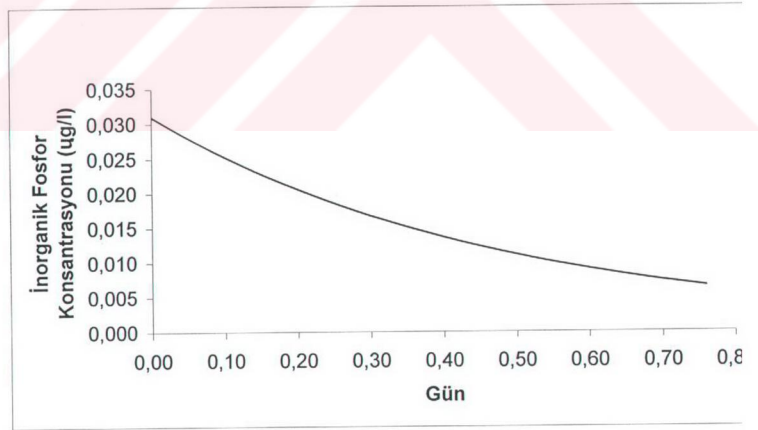
Şekil 6.1 1996 Ocak Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



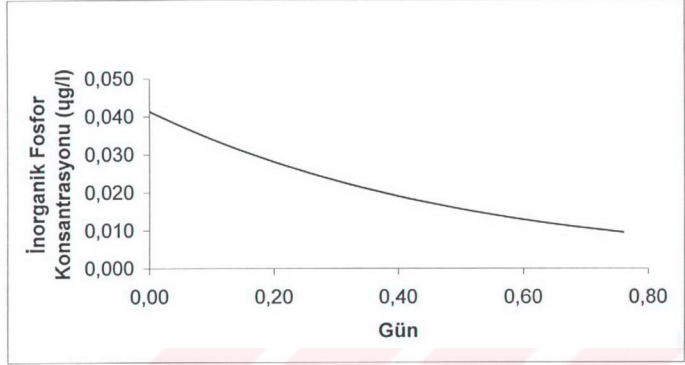
Şekil 6.2 1996 Şubat Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



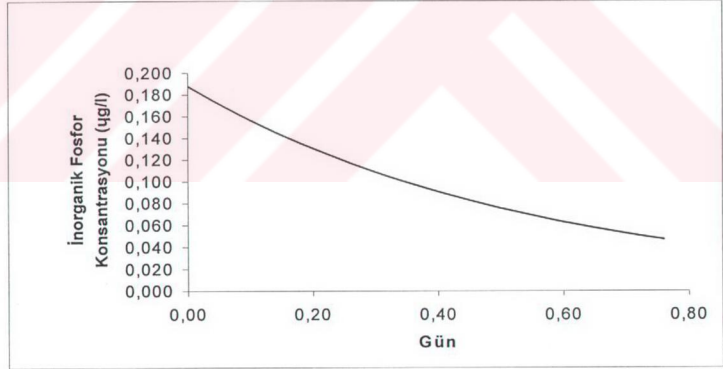
Şekil 6.3 1996 Mart Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 6.4 1996 Nisan Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 6.5 1996 Mayıs Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 6.6 1996 Haziran Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

1996 yılı Temmuz ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.235\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %77'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.053\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.7'de verilmiştir.

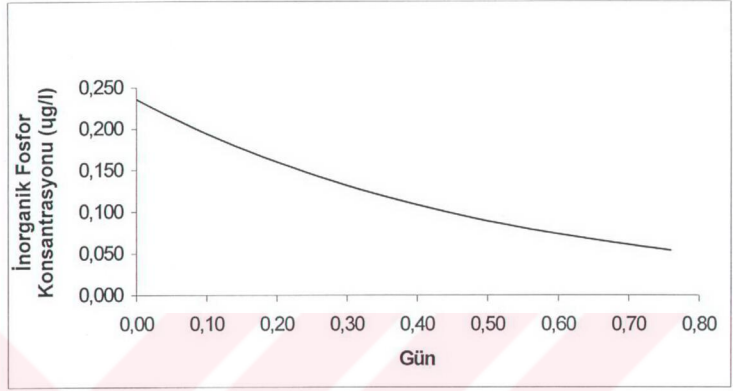
1996 yılı Ağustos ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.253\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %77'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.057\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.8'de verilmiştir.

1996 yılı Eylül ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.352\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %78'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.074\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.9'de verilmiştir.

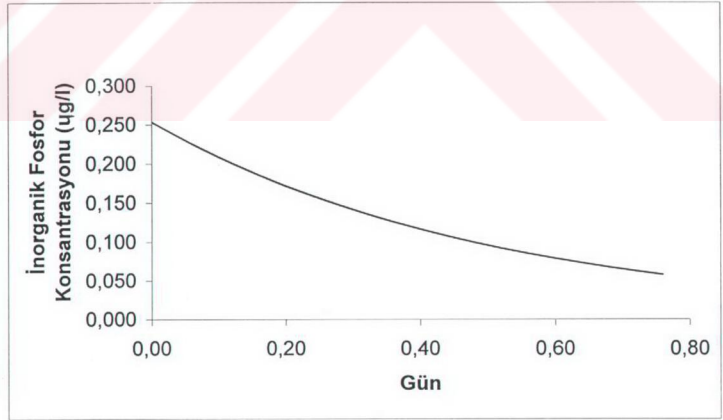
1996 yılı Ekim ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.329\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %79'luk bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.069\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.10'de verilmiştir.

1996 yılı Kasım ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.290\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %80'lik bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.058\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.11'de verilmiştir.

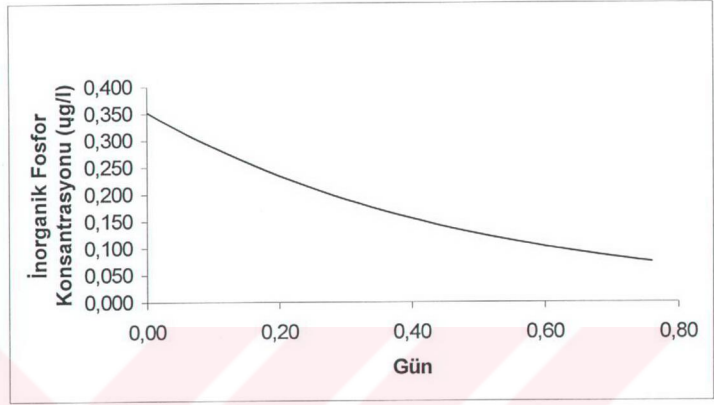
1996 yılı Aralık ayında phytoplanktondan kaynaklanan inorganik fosfor konsantrasyonu KO noktasında  $0.042\mu\text{g/l}$  iken 31 km mesafedeki B2 noktasına ulaşana kadar %79'luk bir azalma göstermiş ve konsantrasyon  $0.0085\mu\text{g/l}$  ye inmiştir. Bununla ilgili değişim grafiği Şekil 6.12'de verilmiştir.



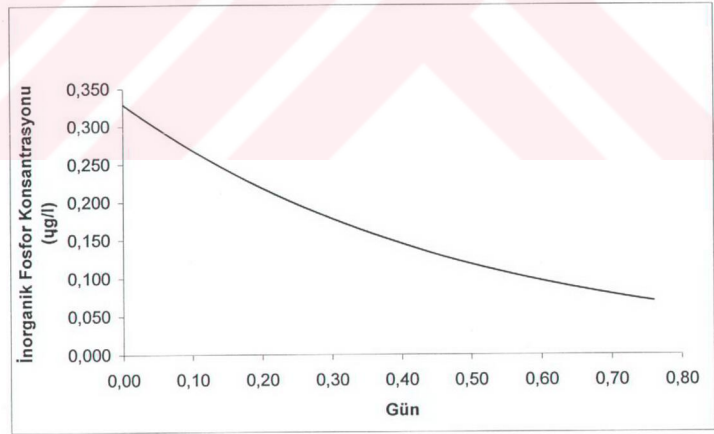
Şekil 6.7 1996 Temmuz Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



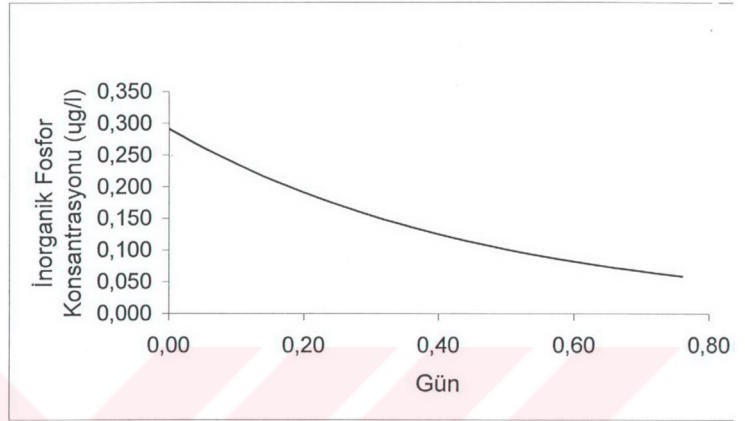
Şekil 6.8 1996 Ağustos Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



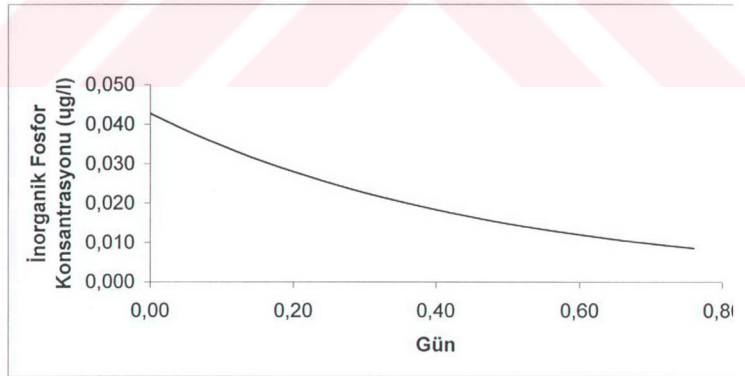
Şekil 6.9 1996 Eylül Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 6.10 1996 Ekim Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



Şekil 6.11 1996 Kasım Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi



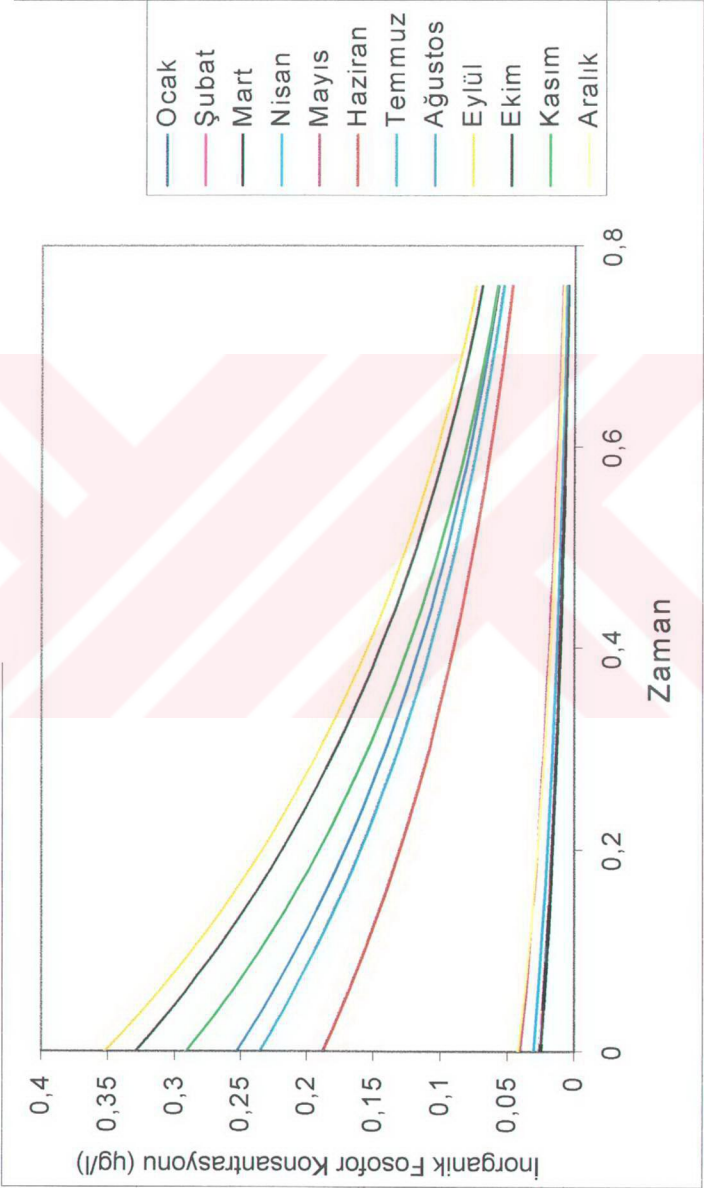
Şekil 6.12 1996 Aralık Ayında İstanbul Boğazı Boyunca Ortalama İnorganik Fosfor Konsantrasyonunun Zamanla Değişimi

Tablo 6.2 Fosfor değişim modeli sonucunda KO ve B2 İstasyonlarında Elde Edilen İnorganik Fosfor Konsantrasyonlarında azalma grafiği

| Aylar             | KO istasyonunda Pyhtoplankton konsantrasyonu ( $\mu\text{g/l}$ ) (İSKİ,1997) | Model Sonucu Elde Edilen İnorganik Fosfor Konsantrasyonu ( $\mu\text{g/l}$ ) |              | Model sonucu elde edilen İnorganik P konsantrasyondaki % Azalma |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|
|                   |                                                                              | K0 İstasyonu                                                                 | B2 İstasyonu |                                                                 |
| Ocak              | 0.3                                                                          | 0.027                                                                        | 0.005        | 81                                                              |
| şubat             | 0.3                                                                          | 0.026                                                                        | 0.005        | 80                                                              |
| Mart              | 0.3                                                                          | 0.025                                                                        | 0.005        | 80                                                              |
| Nisan             | 0.3                                                                          | 0.031                                                                        | 0.0065       | 81                                                              |
| Mayıs             | 0.3                                                                          | 0.041                                                                        | 0.009        | 78                                                              |
| Haziran           | 0.8                                                                          | 0.188                                                                        | 0.047        | 79                                                              |
| Temmuz            | 0.8                                                                          | 0.235                                                                        | 0.053        | 77                                                              |
| Ağustos           | 0.8                                                                          | 0.253                                                                        | 0.057        | 75                                                              |
| Eylöl             | 1.8                                                                          | 0.352                                                                        | 0.074        | 78                                                              |
| Ekim              | 1.8                                                                          | 0.329                                                                        | 0.069        | 79                                                              |
| Kasım             | 1.8                                                                          | 0.290                                                                        | 0.059        | 80                                                              |
| Aralık            | 0.3                                                                          | 0.042                                                                        | 0.0085       | 79                                                              |
| % Ortalama Azalma |                                                                              |                                                                              |              | 78                                                              |

Tablo 6.2'deki KO istasyonunda ölölün phytoplankton konsantrasyon değerleri verilmiştir. Bunun yanında Fosfor Değişim Modeli kullanılarak inorganik fosfor konsantrasyonu değerlerinin KO ile B2 istasyonlarında değişim değerleri ve bunun azalma oranları verilmiştir. Elde edilen bu değerler, phytoplankton konsantrasyonuna, ortamın sıcaklığına,ve mevsimlere bağlı olarak ışık şiddetine göre değiştiği gözlenmiştir.

Her ay için elde edilen İstanbul Boğazı üst tabakasında inorganik fosfor değişimi şekil 6.13'te gösterilmiştir.



Şekil 6.13 Boğaz Boyuca İnorganik fosfor konsantrasyonunda aylara göre değişim

## 7. SONUÇLAR

1. İstanbul Boğazı'nda Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru akan su tabakasının ortalama kalınlığı 20 m'dir. Bu kalınlık mevsimlere göre değişmektedir. K0 ve B2 istasyonlarında 5 m derinlikte yapılan aylık ölçüm sonuçlarının yıllık ortalama orto fosfat konsantrasyonları sırasıyla 5.83 µg/l ve 6.8 µg/l'dir. Buna göre B2 istasyonunda inorganik fosfor konsantrasyonunda %14'lük bir artış gözlenmiştir. Bu artış İstanbul Boğazı'nın her iki yakasından dökülen yüzeysel sularıyla taşınan fosfordan kaynaklanmaktadır. K0 ve B2 istasyonlarında yapılan ölçümlerdeki değişimler Ocak, Şubat, Mart, Haziran, Ağustos aylarında azalma olduğu ve Nisan, Temmuz, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında artış olduğu görülmüştür.
2. İstanbul Boğazı'nda Marmara Denizi'nden Karadeniz'e doğru akan alt tabakanın ortalama kalınlığı 40 m'dir. Alt tabaka akışı kapalı bir boru içindeki akış gibidir. Alt tabaka su kütlesi boğaz tabanı ve üst tabaka ile çevrilidir. B2 ve K0 istasyonlarında 50 m su derinliğinde sürekli olarak aylık ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin yıllık ortalamaları sırasıyla 29.3 µg P/l ve 20.41 µg P/l'dir. Buna göre. K0 İstasyonunda B2 istasyonunda inorganik fosfor konsantrasyonunda %30'luk bir azalış gözlenmiştir. Alt tabakadaki inorganik fosfor konsantrasyonu üst tabakadan daha yüksektir. Alt tabakada inorganik fosfor konsantrasyonunun yüksek olması, birinci sebebi güneş ışığının tabana yeterli seviyede gitmemesinden dolayı birincil üretimin olmaması, ikinci sebebi ise Marmara Denizi'nden boğaz girişi yönünde Ahırkapı ve Üsküdar derin deniz deşarjının olmasıdır.
3. İstanbul Boğazı Karadeniz'den Marmara Denizi'ne doğru oluşan akıntıya uygulanan Fosfor değişim modelinde K0 noktasında 5 m derinlikte ölçülen phytoplankton konsantrasyonları kullanılmıştır. Bu modelde phytoplanktondan oluşan inorganik fosfor konsantrasyonu hesaplanmış ve bunun boğaz üst akımı boyunca değişimi incelenmiştir. Fosfor Değişim Modeli uygulanması sonucunda elde edilen inorganik fosfor konsantrasyonunda boğaz boyunca %78'lik bir azalma meydana gelmiştir. Azalmaya neden olan proses içsel solunum sonucu meydana gelen kimyasal

reaksiyonlar, plânktonların bir kısmının boğaz tabanına çökmesi ve su kütlesi içindeki canlılar tarafından kullanılması sonucu meydana gelir.

4. Fosfor Değişim Modelinde inorganik fosfor konsantrasyonundaki azalma her bir ayda ölçülen phytoplankton konsantrasyonuna, sıcaklığa ve ışık şiddetine bağlıdır.



## KAYNAKLAR

- Akyarlı, A., ve Arısoy, Y., (1994), "Probable effects of The Tube- Tunnel Crossing on the Performance of The Marine outfall Systems In The Bosphorus" IAWQ International Specialized Conference On Marine Disposal Systems, 9-11.11.1994, İstanbul ,121-128
- Ambrose, B.R., (1988), WASP4, Hydrodynamic and Water Quality Model, EPA, Washington, D.C.
- Artüz İ., (1992), Deniz Kirlenmesi, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul
- Chapman, D., (1996), Water Quality Assessments, E&FN Spon, London
- Di Toro, D. M., D. J. O'Connor, ve R. V. Thomann, (1971), A Dynamic Model of the Phtoplankton Population in the Sacramento- San Joaquin Delta, Advances in Chemistry, No.106, American Chemical Society, pp.131-180
- Di Toro, D.M., J.J. Fitzpatrick, ve R.V. Thomann, (1983), "Documentaion for Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) and Model Verification Program(MVP)", Env. Res. Lab, ORD, USEPA, Duluth, MN,145 pp. EPA-600/3-81-044
- İSKİ, (1994), Ömerli and Elmalı Environmental Protection Project 3D Nümerical Modeling of the Environmental Conditions of the Seas Araund İstanbul, Final Report, İstanbul
- İSKİ, (1997), Su Kalitesi İzleme Çalışması Sonuç Raporu, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi, İstanbul
- Gönenç, İ.E., (1996), Remote Sensing Technology for Investigation of the Bosphorus - BlackSea Pollutain and Danubee River Effect. İSKİ için hazırlanan rapor, İstanbul (Türkçe)
- Kao J. J., Lin W.L., ve Tsai C., (1998), "Dynamic Spatial Modeling Approach for Estimation of İnternal Phosphorus Load" Water Research, Vol.32, No.1, pp.47-56, 1998
- Latif, M.A. vd., (1990), Oceanography of the Turkisk Straits- 3 rd Annual Report, 1. IMS Middle East Technical University
- Latif, M.A. ve Özsoy, E., (1992), "Monitoring via Direct Measurement of The Model of Mixing and Transport of Wastewater Discharges into The Bosphorus Underflow" IMS Middle East Technical University
- McKeon T.J., ve Segna J.J. (1987), Selection Criteria For Mathematical Models Used In Exposure Assesments: Surface Water Models, EPA/600/8-87/042, Washington, D.C.
- Mee, L.D., (1992), "The Black Sea İncrsis. The need for concerted internatiol action" Ambio, 21(4):278-286

Oğuz, T., vd., (1990), "Modelling of hydanrically Controlled Exchange Flow in the Bosphorus Strait". J. Physc. Oceanogr., 20, pp. 945-965

Oğuz T., vd., (1990), Türk Boğazlar Sisteminin Fiziksel Oşinografisi. İstanbul Metropolitinden Kaynaklanan Atıksu Kirlilik Yükleri ve İstanbul Boğazı Doğal Yüklerinin Bilançosu ve Bu Yüklerin Marmara Denizi'ne Etkileri Raporu 2. Bölüm (ed. O. Uslu, D. Orhon, Ü.Ünlüata and A. Filibeli), İstanbul

Oğuz, T., ve Özsoy, E., (1990), "Modeling of Hydraulically Controlled Exchange Flow in the Bosphorus Strait", American Meteorological Society ,July, pp.945-965, METU-IMS,

Oğuz, T., Violette P.E., ve Ünlüata. Ü., (1992), "The Upper Layer Circulation of the Black sea: Its Variability as infeired from Hydrographic and Satellite Observations", J. Geophysical Research. 97. C8.pp.12569-12584

Orhon, D., (1994), "Scientific Basis for Wastewater Treatment and Disposal In İstanbul" IAWQ International Specialized Conference On Marine Disposal Systems, 9-11.11.1994, İstanbul, 225-235

Polat, Ç., ve Tuğrul, S., (1995), Karadeniz'den ve İstanbul Atıklarından Marmara Denizi'ne Taşınan Yıllık Fosfor, Azot ve Organik Karbon Yükleri, Turkish Journeal of Engineering and Environmental Sciences Vol:19, pp. 319-325

Thomann, R.V., ve R. P. Winfield, ve D. M. Di Toro, (1974), "Modeling of Phytoplankton in Lake Ontario", (IFYGL) Inter. Assoc. Great Lakes Research, Proceeding 17<sup>th</sup> Conference, pp.135-149

Thomann, R.V., ve Mueller J. A., (1987), Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper &Row, New York.

Tuğrul, S., ve Polat, C., (1994), "Quantititive Comparision of the İnfluxes of Nutrients and Organic Carbon Into The Sea Of Marmara Both From Anthropogenic Inputs And From The Black Sea" IAWQ International Specialized Conference On Marine Disposal Systems,9-11.11.1994, İstanbul, 89-95

Tuğrul, S., ve Polat, Ç., (1995), "Chemical Properties of the Two-Later Flow Regimes in The Turkish Straits, Turkish Journeal Of Marine Science", Vol:1 (2/3) pp.81-94 , METÜ-IMS, Erdemli,

Shuisky, Y.D., (1993), The General Characteristic of the Black sea Coast in Coastlines of the Black Sea ( ed. Ruben Kosyan), pp.25-49, ASCE, Newyork

Sorokin, Yu, I.,(1983), Estuaries and Enclosed Seas. Ecosystem of the World, B.H. Kecthum (ed.), Amsterdam, Elsilver,253-291

Yüce H., (1987), "İstanbul Boğazı ve Karadeniz'de Ortalama Sıcaklık-Tuzluluk Değişim Özellikleri", İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni, Vol.3, Sayı 4



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 08.07.1973  
Doğum yeri Aydın

Lisans 1991-1995 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurumlar 1996-1998 YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma  
Görevlisi