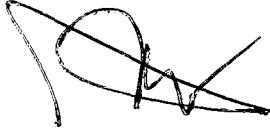


**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

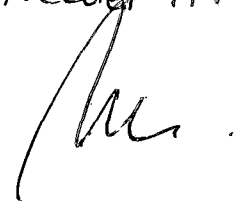
Prof. Dr. Mustafa ÖZTÜRK

92

Doc. Dr. Bülent İNANÇ



Prof. Dr. Necdet ARAL



**İSTANBUL BOĞAZI'NDAKİ SU AKINTILARININ
DENİZ SUYU KİRLENMESİNE ETKİLERİ**

Çevre Mühendisi Cem NALBANT

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

79755

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Necdet ARAL

79755

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	XI
ÖNSÖZ	XIII
ÖZET	XIV
ABSTRACT	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	1
2. KARADENİZ ÇANAĞININ FİZİKSEL ve OŞİNOGRAFİK ÖZELLİKLERİ.....	5
2.1. Karadeniz Su Yüzeyi ve Kıyılarındaki İklim Özellikleri	5
2.2. Karadeniz Çanağındaki Morfolojik Özellikler	8
2.3. Karadeniz Su Kütlesindeki Hidrodinamik Özellikler	11
2.3.1. Karadeniz'in su seviyesi değişimleri ve su bütçesi	11
2.3.2. Karadeniz çanağındaki akıntılar	14
2.3.3. Karadeniz su kütlesinde erimiş halde bulunan gazlar	18
2.3.4. Karadeniz su kütlesinin sıcaklık-tuzluluk değişim özellikleri ve tabakalaşma karakteri	21

3.	MARMARA ÇANAĞININ FİZİKSEL ve OŞİNOGRAFİK ÖZELLİKLERİ	41
3.1.	Marmara Çanağındaki Morfolojik Özellikler	41
3.2.	Marmara Denizi Su Yüzeyi ve Kıyılarındaki Atmosferik Özellikler	45
3.3.	Marmara Denizi Su Kütlesindeki Hidrodinamik Özellikler	46
3.3.1.	Marmara Denizi'nin su seviyesi değişimleri	46
3.3.2.	Marmara Denizi çanağındaki akıntılar	46
3.3.3.	Marmara Denizi'nin su kütlesinde sıcaklık-tuzluluk değişim özellikleri ve tabakalaşma karakteri	48
4.	İSTANBUL BOĞAZI'NIN FİZİKSEL ve OŞİNOGRAFİK ÖZELLİKLERİ	55
4.1.	İstanbul Boğazı ve Çevresinde Atmosferik Özellikler	55
4.1.1.	İstanbul Boğazı ve çevresinde hava sıcaklığı	57
4.1.2.	İstanbul Boğazı ve çevresinde atmosferik basınç	57
4.1.3.	İstanbul Boğazı ve çevresinde hakim yağış rejimi	62
4.1.4.	İstanbul Boğazı ve çevresinde hakim rüzgarlar	62
4.2.	İstanbul Boğazı'nın Morfolojik Özellikleri	67
4.3.	İstanbul Boğazı Su Kütlesinin Akıntı ve Tabakalaşma Özellikleri	75
4.3.1.	İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişindeki (BBJ kesimi) akıntı özellikleri ve Akdeniz suyunun Karadeniz'de incelenmesi	75
4.3.2.	İstanbul Boğazı su kütlesindeki akıntı özellikleri	80
4.3.3.	İstanbul Boğazı'nın Marmara girişindeki (BMJ kesimi) su kütlesinde akıntı özellikleri ve Karadeniz suyunun Marmara Denizi'nde incelenmesi	88
4.4.	İstanbul ve Çanakkale Boğazları'ndan Oluşan Türk Boğazlar Sistemi'ndeki Su Kütlesinde Debi ve Karışım Özellikleri	97

5.	İSTANBUL BOĞAZI'NDAKİ SU AKINTILARININ DENİZ SUYU KİRLENMESİNE ETKİLERİ	105
5.1.	Karadeniz ve İstanbul Metropolitan Alanından Kaynaklanan Evsel ve Endüstriyel Atıksuların Miktar ve Kirlilik Yükleri	105
5.1.1.	Karadeniz'den Marmara Denizi'ne taşınan suların kirlilik yükleri	105
5.1.2.	İstanbul Metropolitan alanından kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıksuların miktar ve kirlilik yükleri	108
5.1.2.1.	İstanbul metropol alanındaki nüfus	109
5.1.2.2.	Evsel ve endüstriyel atıksu miktarları ve kirlilik yükleri	110
5.2.	İstanbul Boğazı ve Çevresinde Deniz Suyu Kirlenmesine Akıntıların Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar	117
5.2.1.	BBJ kesiminde su kalitesi	140
5.2.2.	İstanbul Boğazı su kalitesi	145
5.2.3.	Marmara Denizi'nde su kalitesi	151
5.3.	İstanbul Boğazı ve Çevresinde Ekolojik Durum	151
5.4.	İstanbul Boğazı ve Çevresinde Kirletici Maddelerin Mevcut Su Kütlesi Akıntılarından Etkilendikten Sonraki Bilançoları	155
5.4.1.	İstanbul Boğazı su kütlesinin toplam fosfor bilançosu	157
5.4.2.	İstanbul Boğazı su kütlesinin toplam azot bilançosu	158
5.4.3.	İstanbul Boğazı su kütlesinin toplam organik karbon bilançosu	159
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	160
	KAYNAKLAR	164

EKLER	169
EK 1. B istasyonlarındaki 1987 yılı kimyasal bulguların ortalamaları	170
EK 2. M istasyonlarındaki 1987 yılı kimyasal bulguların ortalamaları	171
EK 3. B istasyonlarındaki 1988 yılı kimyasal bulguların ortalamaları	173
EK 4. M istasyonlarındaki 1987 yılı kimyasal bulguların ortalamaları	174
EK 5. B istasyonlarındaki 1989 yılı kimyasal bulguların ortalamaları	176
EK 6. M istasyonlarındaki 1987 yılı kimyasal bulguların ortalamaları	177
ÖZGEÇMİŞ	179



KISALTMA LİSTESİ

AKM	Askıda katı madde
BBJ	Black Sea Bosphorous Junction
BMJ	Bosphorous Marmara Junction
BBMJ	Black Sea Bosphorous Marmara Junction
ÇİP	Çözünmüş Anorganik fosfor
ÇO	Çözünmüş oksijen
ÇOK	Çözünmüş organik karbon
ÇON	Çözünmüş organik azot
ÇOP	Çözünmüş organik fosfor
FC	Fekal koliform
HM	Hümik madde
PHC	Petrol hidrokarbonları
POK	Partikül organik karbon
PON	Partikül organik azot
PP	Partikül fosfor
Si	Silika
TN	Toplam azot
TOK	Toplam organik karbon
TP	Toplam fosfor

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. BMJ ve BBJ ile bunların birleşiminden oluşan BBMJ.....	3
Şekil 1.2. Çalışma sahası	4
Şekil 2.1. Karadeniz üzerinde yağış dağılımı.....	6
Şekil 2.2a. Aylık ortalama yağış dağılımı (Kumköy).....	7
Şekil 2.2b. Aylık ortalama yağış dağılımı (Şile)......	7
Şekil 2.3a. Karadeniz'in genel batimetresi.....	9
Şekil 2.3b. Karadeniz'in hipsografik unsurları.....	9
Şekil 2.4a. Karadeniz'de yağış ve su seviyesinin yıl içinde değişimi.....	13
Şekil 2.4b. Karadeniz kıyılarında kar kalıntıları ve su seviyesinin yıl içinde değişimi.....	13
Şekil 2.4c. Karadeniz ve Marmara Denizi'nde aylık su seviyesi değişimleri.....	13
Şekil 2.5. Karadeniz ve Akdeniz ile civar denizlerdeki akıntılar.....	16
Şekil 2.6a. Karadeniz'in yüzey akıntıları.....	17
Şekil 2.6b. Karadeniz'in başlıca akıntı çevirimleri.....	17
Şekil 2.7. Karadeniz'de 4/7/1924'de 43° 47' N enlemi ile 37° 36' E boylamında bulunan noktada gözlemlenen oksijen ve hidrojen sülfürün dağılışı.....	19
Şekil 2.8. Karadeniz'in batimetrisi.....	22
Şekil 2.9. Karadeniz'in yüzey suyu sirkülasyonu.....	23
Şekil 2.10. Karadeniz'in yüzey suyu sıcaklığı.....	25
Şekil 2.11. Karadeniz'in yüzey suyu tuzluluğu.....	27
Şekil 2.12. Karadeniz'in yüzey suyu yoğunluğu.....	29
Şekil 2.13. Karadeniz'in yıllık ortalama, minimum, maksimum sıcaklık profili.....	33
Şekil 2.14. Karadeniz'in yıllık ortalama, minimum,maksimum tuzluluk profili.....	34
Şekil 2.15. Karadeniz yaz mevsim aylık ortalama sıcaklık profilleri.....	35
Şekil 2.16. Karadeniz yaz mevsimi aylık ortalama tuzluluk profilleri.....	36
Şekil 2.17. Karadeniz kış mevsimi aylık ortalama sıcaklık profilleri.....	37
Şekil 2.18. Karadeniz kış mevsimi aylık ortalama tuzluluk profilleri.....	38
Şekil 2.19. Karadeniz kış mevsimi aylık ortalama T- S diyagramı.....	39

Şekil 2.20.	Karadeniz yaz mevsimi aylık ortalama T-S diyagramı.....	40
Şekil 3.1.	Marmara'nın denizaltı reliefi.....	42
Şekil 3.2.	Marmara şelfi üzerinde denizaltı vadiler şebekesi, denizaltı deltaları.....	44
Şekil 3.3.	Marmara Denizi'nde yüzeyde akıntılar.....	47
Şekil 3.4.	Marmara Denizi'nde sıcaklık 0.5 m , 9-12 Ağustos 1994.....	50
Şekil 3.5.	Marmara Denizi'nde sıcaklık 20 m, 9-12 Ağustos 1994.....	51
Şekil 3.6.	Marmara Denizi'nde tuzluluk 0.5 m, 9-12 Ağustos 1994.....	52
Şekil 3.7.	Marmara Denizi'nde tuzluluk 20 m, 9-12 Ağustos 1994.....	53
Şekil 3.8	Marmara Denizi'nde tuzluluk 30 m , 9-12 Ağustos 1994.....	54
Şekil 4.1.	BMJ ve BBJ ile bunların birleşiminden oluşan BBMJ.....	56
Şekil 4.2.	Karadeniz üzerinde hava sıcaklıkları dağılımı.....	58
Şekil 4.3a.	Aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı (Kumköy).....	59
Şekil 4.3b.	Aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı (Şile).....	59
Şekil 4.4a.	Aylık ortalama basınç dağılımı (Kumköy).....	60
Şekil 4.4b.	Aylık ortalama basınç dağılımı (Şile).....	60
Şekil 4.5.	Arnavutköy'deki su seviyesi ve Kandilli'deki atmosferik basınç değişimi ilişkisi.....	61
Şekil 4.6a.	Aylık ortalama yağış dağılımı (Kumköy).....	64
Şekil 4.6b.	Aylık ortalama yağış dağılımı (Şile).....	64
Şekil 4.7a.	Meteorolojik alt bölgeler.....	65
Şekil 4.7b.	Rüzgarların aylık ortalama hız dağılımı (Kumköy).....	65
Şekil 4.7c.	Rüzgarların aylık ortalama hız dağılımı (Şile).....	65
Şekil 4.8.	İstanbul Boğazı'nın denizaltı profilleri.....	69
Şekil 4.9a.	İstanbul Boğazı'nın morfolojik özellikleri.....	70
Şekil 4.9b.	İstanbul Boğazı'nın dip topoğrafyası.....	71
Şekil 4.10a.	İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışının dip topoğrafyası.....	72
Şekil 4.10b.	GB Karadeniz'in batimetresi.....	72
Şekil 4.10c.	İstanbul Boğazı'nın kanyonu.....	73
Şekil 4.10d.	İstanbul Boğaz kanyonu boy kesiti.....	73
Şekil 4.11.	BMJ batimetresi.....	74
Şekil 4.12a.	Akdeniz suyunun güneybatı Karadeniz'de dağılımı (Haziran 1983).....	77

Şekil 4.12b.	Akdeniz suyunun güneybatı Karadeniz’de dağılımı (Eylül 1984).....	77
Şekil 4.13a.	BBJ tuzluluk dağılımı.....	78
Şekil 4.13b.	BBJ’de sıcaklık dağılımı.....	78
Şekil 4.14.	‰ 24’den büyük tuzluluk değerine sahip dip sularının İstanbul Boğazı’nın Karadeniz çıkışındaki dağılımı.....	79
Şekil 4.15.	Baltalimanı üst ve alt tabaka akıntı hızlarının seviye farkıyla değişimi.....	83
Şekil 4.16a.	Üsküdar’da su seviyesi değişimi.....	84
Şekil 4.16b.	Anadolu Kavağı’nda su seviyesi değişimi.....	84
Şekil 4.16c.	Üsküdar ve Anadolu Kavağı’nda basınç değişimi.....	84
Şekil 4.17a.	Karadeniz yüzey suyunun İstanbul Boğazı’nda terslenmesi.....	85
Şekil 4.17b.	Akdeniz suyunun güneybatı Karadeniz’de terslenmesi.....	85
Şekil 4.18.	Boğaz boyunca üst ve alt tabaka kalıntılarının mevsimsel değişimi..	86
Şekil 4.19.	Karadeniz - Marmara Deniz seviye farkı , Baltalimanı üst ve alt tabaka akıntı hızları.....	87
Şekil 4.20a.	Karadeniz’de yağış ve su seviyesinin yıl içinde değişimi.....	89
Şekil 4.20b.	Karadeniz kıyılarında kar kalıntıları ve su seviyesinin yıl içinde değişimi.....	89
Şekil 4.20c.	Karadeniz ve Marmara Denizi’nde aylık su seviyesi değişimleri.....	89
Şekil 4.21.	Farklı net akım debileri için İstanbul Boğazı boyunca toplam Froude sayısı dağılımı.....	90
Şekil 4.22.	İstanbul Boğazı’da eş tuzluluk eğrileri.....	90
Şekil 4.23.	Boğaz boyunca üst ve alt tabaka kalıntılarının mevsimsel değişimleri.....	91
Şekil 4.24a.	Marmara Denizi’nde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişimi (Mayıs 1991).....	92
Şekil 4.24b.	Marmara Denizi’nde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişimi (Eylül 1991).....	93
Şekil 4.24c.	Marmara Deniz’nde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişimi (Aralık 1991).....	94
Şekil 4.25a.	Marmara Denizi’nde su sıcaklığının, tuzluluğun ve yoğunluğun derinlikle değişiminin mevsimsel karakteristikleri.....	95

Şekil 4.25b.	Boğazda su sıcaklığının, tuzluluğun ve yoğunluğun derinlikle değişiminin mevsimsel karakteristikleri.....	95
Şekil 4.25c.	Karadeniz’de su sıcaklığının ,tuzluluğun ve yoğunluğun derinlikle dağışiminin mevsimsel karakteristikleri.....	95
Şekil 4.26.	İstanbul Boğazı üst akımının Marmara Denizi’ne yayılımı.....	96
Şekil 4.27.	Türk Boğazları Sistemi’nde en uzun kesitteki oşinografik ölçüm istasyonları.....	98
Şekil 4.28.	1986 yılı ortalama tuzluluk değeri için Türk Boğazlar Sistemi’nde ortalama su alışverişleri.....	101
Şekil 4.29.	1987 yılı ortalama tuzluluk değeri için Türk Boğazlar Sistemi’nde ortalama su alışverişleri.....	102
Şekil 4.30.	1986-1987 yıllarındaki tüm ölçümlerin ortalaması olan tuzluluk değeri için Türk Boğazlar Sistemi’nde ortalama su alışverişleri....	103
Şekil 4.31.	1993 yılı Türk Boğazlar Sistemi akım düzeni.....	104
Şekil 5.1.	İstanbul Boğazı ve Boğaz- Marmara geçiş bölgesinde karbon,azot, fosfor ve oksijen konsantrasyonlarını belirleyici ana mekanizmalar..	118
Şekil 5.2.	Boğaz ve Boğaz-Marmara birleşim bölgesinde çeşitli araştırmacılarca kullanılan ölçüm noktaları.....	120
Şekil 5.3.	Boğaz boyunca 1987 yılı hümit madde konsantrasyonu değışımi.....	121
Şekil 5.4.	Boğaz boyunca 1988 yılı hümit madde konsantrasyonu değışımi.....	122
Şekil 5.5.	Boğaz boyunca 1989 yılı hümit madde konsantrasyonu değışımi.....	123
Şekil 5.6.	Boğaz boyunca 1987 yılı PO ₄ -P konsantrasyonu değışımi.....	124
Şekil 5.7.	Boğaz boyunca 1988 yılı PO ₄ -P konsantrasyonu değışımi.....	125
Şekil 5.8.	Boğaz boyunca 1989 yılı PO ₄ -P konsantrasyonu değışımi.....	126
Şekil 5.9.	Boğaz boyunca 1987 yılı NO ₃ +NO ₂ -N konsantrasyonu değışımi.....	127
Şekil 5.10	Boğaz boyunca 1988 yılı NO ₃ +NO ₂ -N konsantrasyonu değışımi.....	128
Şekil 5.11.	Boğaz boyunca 1989 yılı NO ₃ +NO ₂ -N konsantrasyonu değışımi.....	129
Şekil 5.12.	Boğaz boyunca 1987 yılı klorofil-a konsantrasyonu değışımi.....	130
Şekil 5.13.	Boğaz boyunca 1988 yılı klorofil-a konsantrasyonu değışımi.....	131
Şekil 5.14.	Boğaz boyunca 1989 yılı klorofil-a konsantrasyonu değışımi.....	132
Şekil 5.15.	Boğaz boyunca 1987 yılı toplam organik karbon konsantrasyonu değışımi.....	133

Şekil 5.16.	Boğaz boyunca 1988 yılı toplam organik karbon konsantrasyonu değişimi.....	134
Şekil 5.17.	Boğaz boyunca 1989 yılı toplam organik karbon konsantrasyonu değişimi.....	135
Şekil 5.18.	Karadeniz’de aerobik-anoksik anaerobik tabakalar.....	141
Şekil 5.19.	BBJ kesiminde çözünmüş oksijenin derinlikle değişimi.....	144
Şekil 5.20.	Boğaz boyunca çözünmüş oksijenin değişimi.....	146
Şekil 5.21.	Boğaz boyunca orto fosfatın değişimi.....	147
Şekil 5.22.	Boğaz boyunca silikanın değişimi.....	148
Şekil 5.23.	Boğaz boyunca NO_3+NO_2 ’nin değişimi.....	149
Şekil 5.24.	Boğaz boyunca PHC değişimi.....	150
Şekil 5.25.	Boğazlar ve Marmara Denizi’nde birincil üretkenlik ve klorofil-a değerleri.....	152
Şekil 5.26.	Karadeniz’de birincil üretim.....	154
Şekil 5.27.	Karadeniz’de plankton dağılımının uydu verilerinden elde edilmiş görüntüsü.....	154
Şekil 5.28.	İstanbul Boğazı’ndaki su akıları.....	156
Şekil 6.1.	Karadeniz ve İstanbul Metropolü’nden Marmara Denizi’ne giren kirletici madde miktarları.....	162

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1.	Karadeniz ve Azak Denizi'nin alanları ve bu havzalarda morfolojik birimlerin genel yüzölçümündeki payları	10
Tablo 2.2.	Karadeniz'in su bütçesi	11
Tablo 2.3.	Karadeniz ve Azak Denizi'nin hacimleri ve bu çanaklardaki muhtelif su kütlelerinin payları	20
Tablo 3.1.	Marmara Bölgesi'ndeki ortalama yağış dağılımı	45
Tablo 4.1a.	Güneybatı Karadeniz'in mevsimsel ortalama rüzgar hızı dağılımı	66
Tablo 4.1b.	Güneybatı Karadeniz'in mevsimsel ortalama rüzgar yön dağılım yüzdeleri	66
Tablo 4.2.	Boğaziçi'nde yıllık su debisi tahminleri	80
Tablo 4.3.	Türk Boğazlar Sistemi'nde kesişim bölgelerindeki ortalama tuzluluk değerleri	97
Tablo 5.1.	İstanbul Boğazı'nın kuzey girişinde üst tabaka sularında ölçülen kimyasal parametrelerin yıllık ortalama değerleri	106
Tablo 5.2.	İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinde üst su tabakasına, Marmara girişinde ise tuzlu alt su tabakasına ait yıllık ortalama anorganik ve organik madde derişimleri	108
Tablo 5.3.	Yıllara göre nüfus sayımları ve çoğalma nispeti	109
Tablo 5.4.	Havzalara göre İstanbul Metropoliten alanının tahmini nüfusları	110
Tablo 5.5.	İstanbul evsel ve endüstriyel atıksuyundaki kirletici madde konsantrasyonları	111
Tablo 5.6.	İstanbul'un nüfus ve su ihtiyacı tablosu	111
Tablo 5.7.	İstanbul Metropoliten alanından kaynaklanan atıksu miktarları ve kirlilik yükleri (1990 yılı için)	112
Tablo 5.8.	İstanbul Metropoliten alanından kaynaklanan atıksu miktarları ve kirlilik yüklerinin bölgelere göre dağılımı (1990 yılı için)	113
Tablo 5.9.	İstanbul Metropoliten alanından kaynaklanan atıksu miktarları ve kirlilik yükleri (2020 yılı için)	114
Tablo 5.10.	İstanbul Metropoliten alanından kaynaklanan atıksu miktarları ve kirlilik yüklerinin bölgelere göre dağılımı (2020 yılı için)	115

Tablo 5.11.	Karadeniz'in kıyı sularında değişik tabakalar için besi maddelerinin ortalama değerleri	142
Tablo 5.12.	Karadeniz'den Boğaz birleşimini çevreleyen bölgenin üst tabaka sularında seçilen bazı parametrelerin mevsimsel değişimi	143
Tablo 5.13.	BBJ içinde su kalitesi	143
Tablo 5.14.	Marmara Denizi'nde trofik durumu belirleyen parametrelerin diğer denizlerle karşılaştırılması	153
Tablo 5.15.	Marmara Denizi - Boğaz toplam fosfor bilançosu	157
Tablo 5.16.	Marmara Denizi - Boğaz toplam azot bilançosu	158
Tablo 5.17.	Marmara Denizi - Boğaz toplam organik karbon bilançosu	159
Tablo 6.1.	Karadeniz ve İstanbul Metropolü'nden Marmara Denizi'ne giren kirletici madde miktarları	161



ÖNSÖZ

Hızla endüstrileşen dünyamız, bunun beraberinde getirdiği çevre problemlerinin de üstesinden gelmeye çalışmaktadır. Ancak bu problemler, yüzyılın başına kadar olduğu gibi sadece doğanın kendi faaliyetleriyle çözülebilecek hali çoktan aşmıştır. Daha çok üreten, dolayısıyla da daha çok tüketip daha fazla atık madde açığa çıkaran insanoğlu, özellikle son 25 yıldan buyana artık doğayı da düşünmek zorunda kalmıştır.

Türkiye’de de, endüstrileşmiş diğer ülkelerde olduğu gibi çevre sorunları son zamanlarda daha da içinden çıkılmaz bir hal almıştır. Dört tarafının denizlerle çevrili olması ve bu denizleri doğaya en fazla atık madde atan ülkelerle ortaklaşa kullanması sorunu daha da önemli bir hale getirmiştir. Dolayısıyla bu çalışmayla Türkiye’nin ve dünyanın en önemli su yollarından biri olan İstanbul Boğazı ve onu çevreleyen denizlerdeki kirlenme boyutu ve su kütlesindeki akıntıların bu kirlenmeye etkileri incelenerek soruna dikkat çekilmek ve ilerde çözümü için yapılacak faaliyetlere ışık tutmak hedeflenmiştir.

Yapılan bu çalışma sırasında gösterdikleri ilgi ve özverilerden dolayı başta danışmanım Sayın Prof. Dr. Necdet ARAL’a ve bugünlere gelmemde bana emeği geçmiş olan tüm değerli hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Cem NALBANT
HAZİRAN, 1998

ÖZET

Karadeniz ve Marmara Denizi'ni birbirine bağlayan İstanbul Boğazı'ndaki iki tabakalı akıntı sistemine ilişkin bir çok araştırma ve model çalışması yapılmıştır. Mevcut verilerin analizi, İstanbul Boğazı'ndaki akım sisteminin iki tabakalı yapısını bazı meteorolojik koşullar dışında sürekli olarak koruduğunu göstermiştir. İstanbul Boğazı'nın Batı Karadeniz, Marmara Denizi ve Akdeniz su kütlelerinden etkilendiği görülmektedir. Akdeniz suyunu tanımlamada genellikle tuzluluk izleyici parametre olarak ele alınmıştır. Büyük bir kısmı topoğrafik oşinografik etkilerle üst suya karışarak Marmara Denizi'ne geri dönen Akdeniz suyunun Karadeniz'de dipte kuzeybatı yönünde çok sınırlı alanda 3 - 4 metre kalınlığında bir tabaka halinde dağıldığı gözlenmiştir. Yapılan gözlemler genellikle Akdeniz suyunun sürekli olarak Karadeniz'e taşındığını doğrular niteliktedir. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz geneline göre yüzeyde daha az tuzlu ve sıcak, alt tabakalarda ise daha çok tuzlu ve sıcak olduğu saptanmıştır. İstanbul Boğazı'nda yüzeyde en düşük ortalama sıcaklık 5.78°C ile ‰ 17.99 ortalama tuzluluk değeri ile Şubat ayında gözlenirken, Karadeniz'de en düşük aylık ortalama yüzey suyu sıcaklığı 7.10°C ile ‰ 18.25 tuzluluk değeri ile Şubat ayında gözlenmektedir.

Yapılan hesaplamalara göre Karadeniz'den Marmara'ya yılda yaklaşık 0.93×10^4 ton TP, 1.9×10^5 ton TN ve 1.53×10^6 ton da TOC taşınmaktadır. 1990 yılı İstanbul toplam nüfusu ve bölgedeki mevcut sanayii kuruluşlarının kimyasal atık yükleri baz alınarak yapılan hesaplamalara göre ise Boğaz'ın yüzey sularına ve Boğaz'a yakın Marmara kıyı sularına verilen İstanbul bölgesi atıksularıyla Marmara Denizi'ne yılda 0.58×10^4 ton TP, 0.3×10^5 ton TN ve 0.12×10^6 ton TOC karışmaktadır. Marmara'nın üst tabakasına bu iki kaynaktan giren yıllık kimyasal madde yükleri karşılaştırıldığında, Karadeniz girdilerinin İstanbul kentsel atıklarının taşıdığı kimyasal yüklerden parametre bazında 4 ilâ 20 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Batı Karadeniz ekosisteminin nehirlerle taşınan insan kaynaklı kimyasalların etkisiyle son 20 yılda dramatik değişimlere uğradığı dikkate alınırsa, Boğaz akıntısıyla üst tabakasındaki suları yılda en az 2 kez Karadeniz kökenli sularla yenilenen Marmara Denizi'nin ciddi bir tehdit altında olduğu açıktır. Karadeniz kökenli kirleticiler Marmara Denizi'nin açık sularını etkilerken, Boğaz dışında kalan bölgelerden Marmara'ya deşarj edilen atıksular akıntıların zayıf olduğu kıyı sularda birikime uğrayarak bu alanlardaki canlı yaşamını etkilemektedir.

ABSTRACT

Numerous researches and model studies have been made on two-layered current system of the Bosphorus which connects the Black Sea and Marmara Sea. Time series analysis of measured data have indicated that this system is two-layered flow except for certain meteorological conditions. Strait of İstanbul is effected by western Black Sea and Mediterranean water masses through the Sea of Marmara. Usually salinity was taken a identifier parameter of Mediterranean water. Mediterranean water which is major portion of it upwelled due to topographic and oceanographic effects carried back to the Sea of Marmara with upper water, spreads towards Northwest direction in the Black Sea at the bottom. Within very thick approximately 3 - 4 m. thick layer in a very confined narrow area. Observations supports general continuous flow of the Mediterranean water towards the Black Sea. Compare to the Black Sea proper Strait of İstanbul surface water less saline and warmer in contrary to bottom water which is saltier and warmer. Lower value of mean surface water temperature 5.7°C with a salinity ‰ 17.95 is observed in February at the Strait. While it is observed to be 7.10°C with a salinity ‰ 18.75 in the Black Sea during same month.

The annual influxes from the Black Sea to the Sea of Marmara were calculated to be 0.93×10^4 tons P, 1.90×10^5 tons N, and 1.53×10^6 tons C. Based on the 1990 population and industrial facilities of the İstanbul region, the annual waste loads dumped onto the Bosphorus surface layer and the shore waters of the Marmara sea were calculated to be 0.58×10^4 tons P, 0.3×10^5 tons N, and 0.12×10^6 tons C. when these two sources which feed the surface waters of the Marmara Sea are compared, the Black Sea loads are obviously 4 20 times greater than the İstanbul waste loads. When noticing the ecological damage in the Black Sea due to the increasing pollutant loads with the riverine inputs in the lastt 20 years, it is obvious that the surface waters of the Sea of Marmara which renew twice a year with the Black Sea flow could be threatened seriously by this fact. While the Black Sea-originated pollutants contact the open waters of he Marmara Sea, the wastewaters dumped onto the surface waters of the Marmara in the Bosphorus vicinity threaten the biological life of coastal waters where the currents are weak.

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Hızla endüstrileşen dünyamız, bunun beraberinde getirdiği çevre problemlerinin de üstesinden gelmeye çalışmaktadır. Ancak bu problemler, yüzyılın başına kadar olduğu gibi sadece doğanın kendi kendine özümleme kapasitesini çoktan aşmıştır. Daha çok üreten, dolayısıyla da daha çok tüketip daha fazla atık madde açığa çıkaran insanoğlu, özellikle son 25 yılda doğayı da düşünmek zorunda kalmıştır.

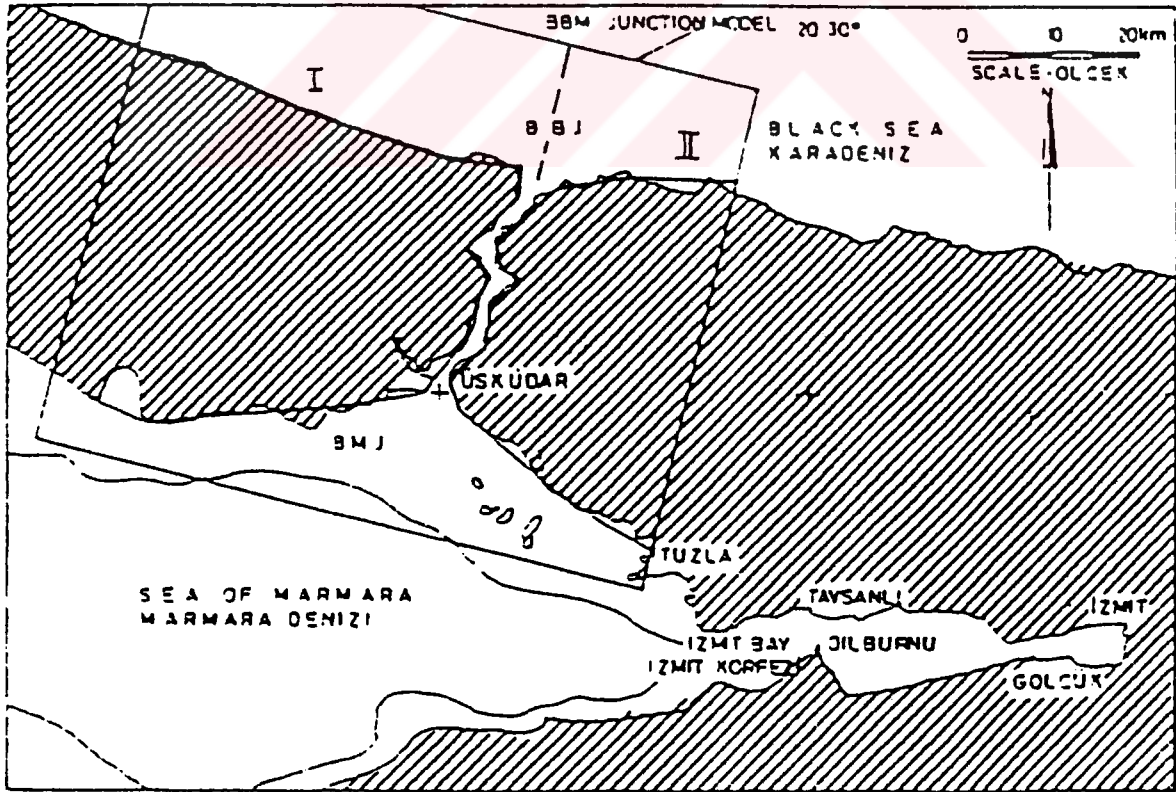
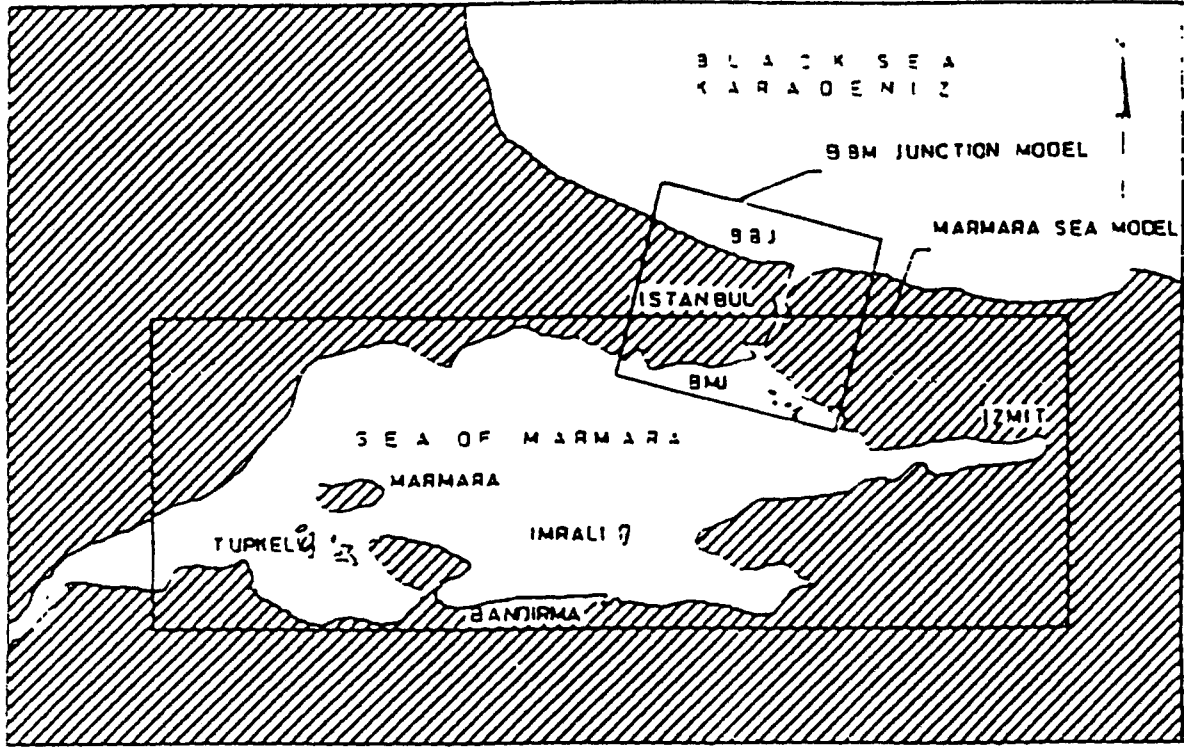
Türkiye’de endüstrileşmiş diğer ülkelerde olduğu gibi çevre sorunları son zamanlarda daha da içinden çıkılmaz bir hal almıştır. Dört tarafının denizlerle çevrili olması ve bu denizleri doğaya en fazla atık madde atan ülkelerle ortaklaşa kullanması sorunu daha da önemli bir hale getirmiştir. Dolayısıyla bu çalışmayla Türkiye’nin ve dünyanın en önemli su yollarından biri olan İstanbul Boğazı ve onu çevreleyen denizlerdeki kirlenme boyutu ve su kütlesindeki akıntıların bu kirlenmeye etkileri incelenmiştir.

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

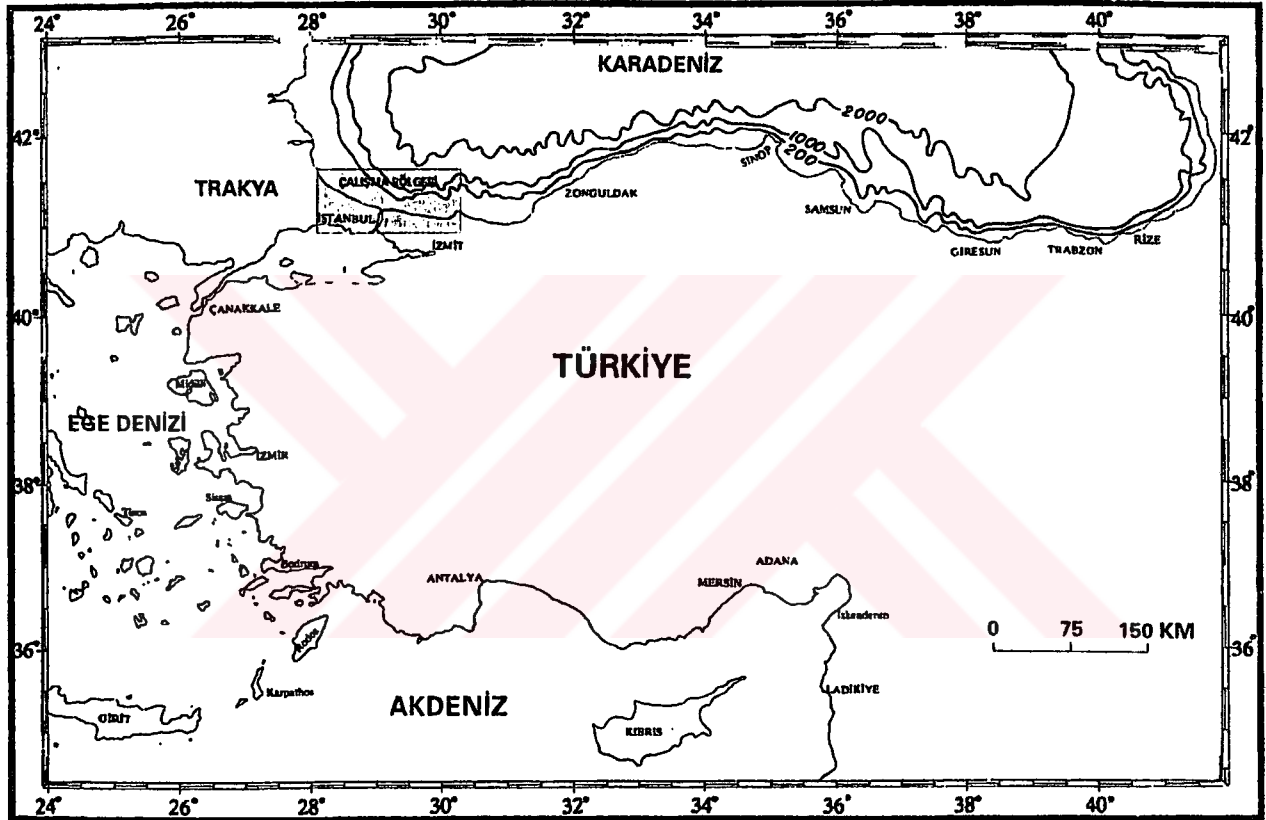
Çalışmanın esas amacı, İstanbul Boğazı’ndaki su akıntılarının deniz suyundaki kirleticilerin taşınımına etkilerinin belirlenmesidir. Bu amaç çerçevesinde İstanbul Boğazı ve onu çevreleyen Karadeniz ve Marmara Denizi’nin birbirleriyle olan su transferleri ve Boğaz’daki akıntıların özellikleri detaylı incelenmiştir. Ayrıca özellikle Karadeniz su kütlesinin ve İstanbul Metropoliten alanından kaynaklanan atıksuların kirletici madde yükleri belirlenmiş, akıntıların bu kirleticilerin su kütleleri içindeki taşınmasındaki etkileride çalışmanın kapsamı içine alınmıştır.

Çalışma alanı 3 temel bölüme ayrılmıştır. Bu bölümlerin oluşturulmasında coğrafi konumlar ve birbirini etkileyen su kütleleri dikkate alınmıştır. Buna göre, birinci kısım olarak Karadeniz su kütlesi ve bu denizin güneybatı kesimiyle İstanbul Boğazı'nın birleştiği bölüm kabul edilmiş ve bu birleşme noktasına şimdiye kadarki tüm çalışmalarda olduğu gibi BBJ (Black Sea Bosphorous Junction - Karadeniz-Boğaz Havzası) adı verilmiştir. İkinci kısım ise bir su koridoru olan ve Karadeniz'le Akdeniz arasındaki su kütlesi trafiğini yöneten İstanbul Boğazı'dır. Marmara Denizi'nin kuzey doğu kesimi ile İstanbul Boğazı'nın birleştiği bölge ise BMJ (Bosphorous Marmara Junction) adını alır ve çalışmada üçüncü bölgeyi oluşturur. Her üç bölgeyi içine alan kısma da BBMJ (Black Sea Bosphorous Marmara Junction) denilmiştir. Çalışma sahasını oluşturan bu bölgeler Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de gösterilmiştir.





Şekil 1.1. BMJ ve BBJ ile bunların birleşmesinden oluşan BBMJ



Şekil 1.2. Çalışma sahası

BÖLÜM 2

2. KARADENİZ ÇANAĞI'NIN FİZİKSEL ve OŞİNOGRAFIK ÖZELLİKLERİ

Karadeniz, Avrupa ve Asya kıtaları arasında yer alan elips şeklinde, oldukça büyük bir denizdir. Alanı 432 000 km², hacmi ise 534 000 km³'dür. Havzanın büyük bir kısmı 2000 metreden derindir. Ortalama derinliği 1275 metre, maksimum derinliği 2235 metredir. İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile Marmara Denizi'nden oluşan Türk Boğazlar Sistemi, Karadeniz'i Akdeniz'den ayırır.

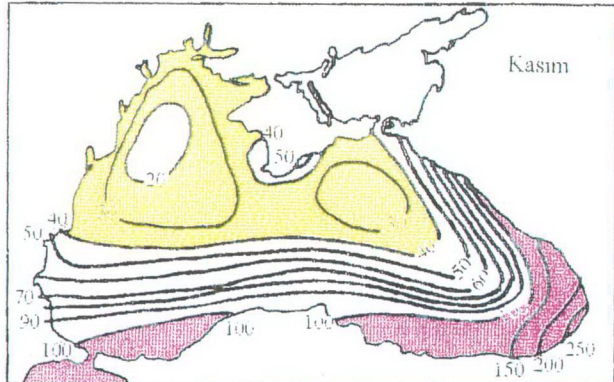
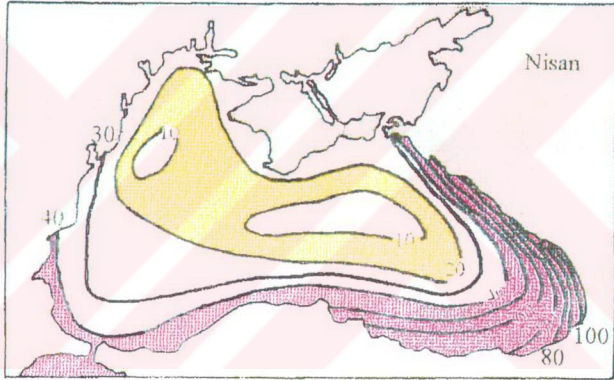
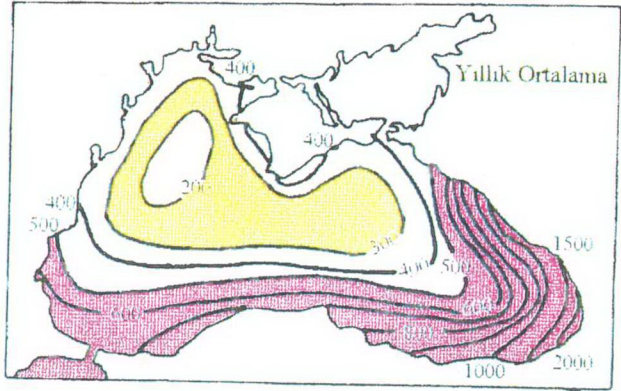
2.1. Karadeniz Su Yüzeyi ve Kıyılarındaki İklim Özellikleri

Su kütleindeki hareketlerin daha detaylı incelenebilmesi için, bu hareketler üzerinde en etkili olan başlıca meteorolojik özelliklerden; hava sıcaklığı, basınç, yağış ve rüzgâr rejimlerinin takip edilmesi gereklidir. İstanbul Boğazı su kütlesi akıntılarına etkisi açısından Karadeniz çanağının özellikle Boğaz girişi ile Türkiye sahilleri civarındaki atmosferik özellikleri önem taşır.

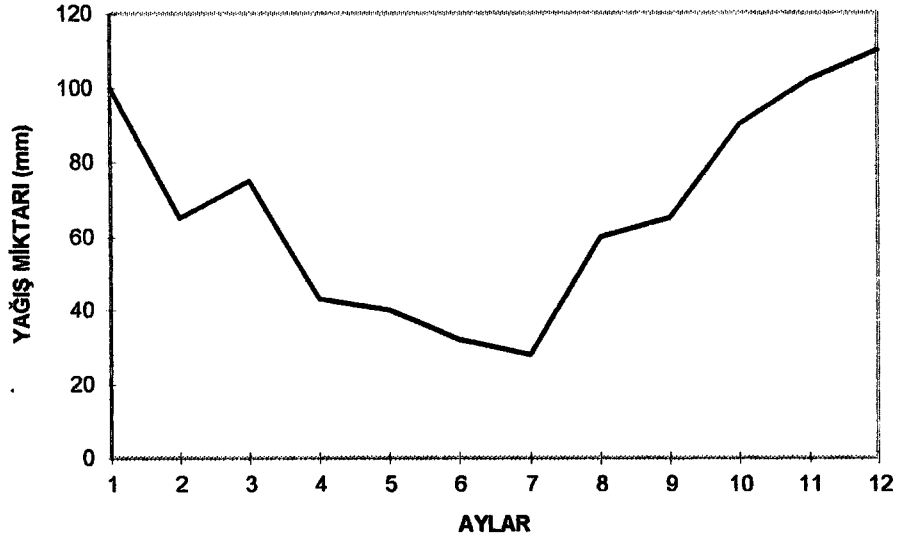
Karadeniz çanağında yağışın dağılımı üniform değildir (Şekil 2.1). Karasal maksimum yıllık yağış yüksekliği güneydoğuda (Batum) 2500 mm'yi aşarken, minimum yıllık yağış kuzeybatıda (Tuna ağzı) görülür ve 400 mm.'nin altına düşer (İSKİ, 1997). Her iki bölge içinde yılda ortalama 725 mm civarında yağış düşmekte olup, bunun %70'i Kasım - Mart ayları arasında gerçekleşmektedir. Yağışların %30'luk kısmını içeren periyottaki (Nisan - Ekim) yağış dağılımı ise, Şekil 2.2a'da görülmektedir. Kumköy civarında bölgenin yıllık ortalama yağış dağılımı incelendiğinde, en düşük yağış ortalaması 22 mm ile Temmuz ayında, en yüksek yağış ortalaması ise, 100 mm ile Aralık ve Ocak aylarında gözlenmektedir.

Şile civarında ise en yüksek aylık yağış miktarı, Aralık ve Ocak aylarında sırasıyla 110 mm. ve 100 mm. olarak görülmektedir. Şile civarına yağışların büyük bir kısmının Kasım - Mart ayları arasında düştüğü Şekil 2.2b'den anlaşılmaktadır.

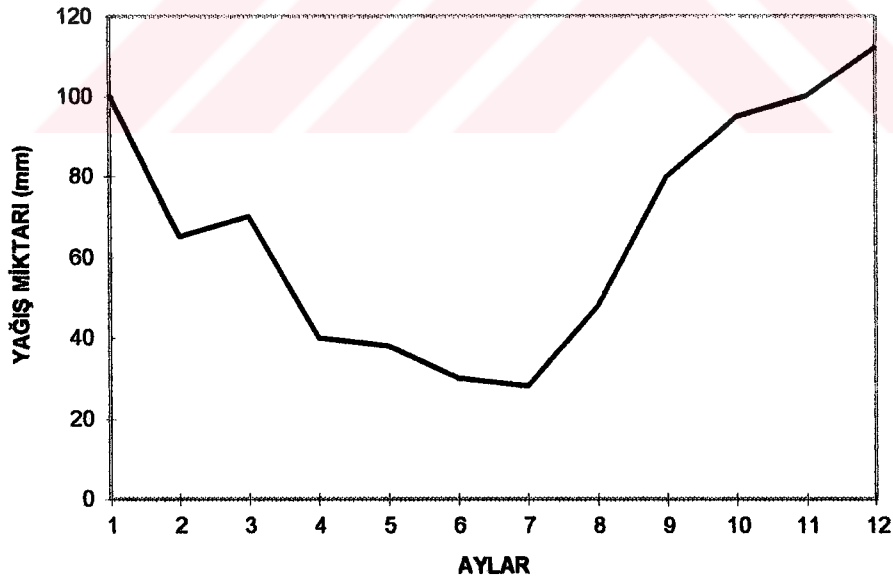
Karadeniz çanağında etkin bir rüzgâr yönünden söz edilemez. Ancak büyük oranda kuzeyli rüzgarların etkinliği görülmektedir.



Şekil 2.1. Karadeniz üzerinde yağış dağılımı (mm) (İSKİ, 1997)



ŞEKİL 2.2a. Aylık ortalama yağış dağılımı (Kumköy)



ŞEKİL 2.2b. Aylık ortalama yağış dağılımı (Şile) (İSKİ, 1997)

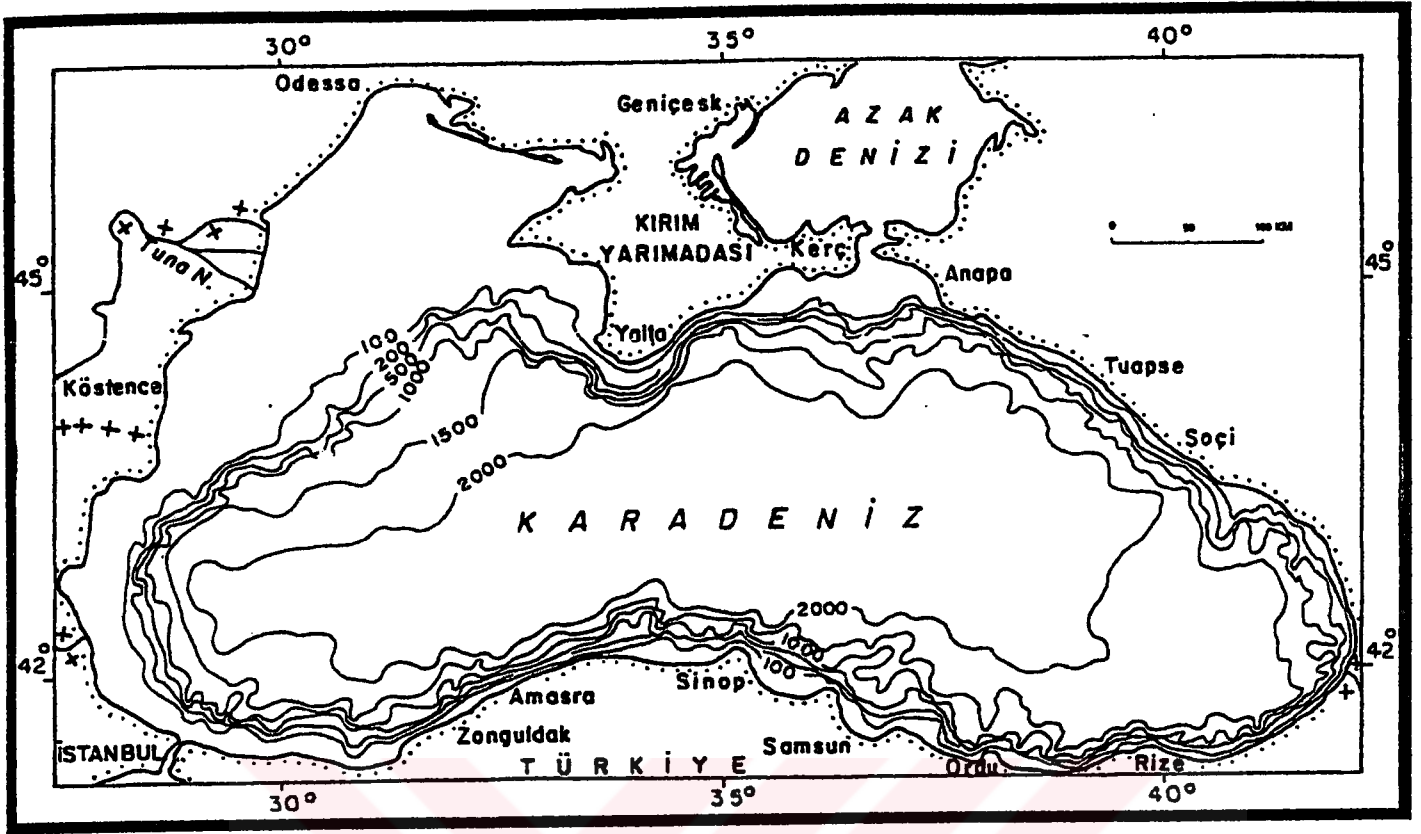
2.2. Karadeniz Çanağındaki Morfolojik Özellikler

Karadeniz, konum, okyanusla bağlantı ve morfolojik birimler açısından ilginç özellikler gösteren bir denizdir. Karadeniz çanağının alanı ve havzadaki morfolojik birimlerin ne kadar yer kapladıkları hakkındaki veriler arasında oldukça büyük farklar vardır. Karadenizin yüzölçümüne ait veriler 411.000 km² (Baykut, 1983; Dobrinin, 1941; İstoşin, 1953) ile 424.000 km² (Ardel, 1957) arasında oynamaktadır. Shuisky'nin 1993 yılında yaptığı çalışmada bu yüzölçüm 413.488 km² olarak verilmiştir. Toplam kıyı uzunluğu ise 4431 km'dir (Gönenç v.d., 1996). Karadeniz'in derinliği 2000 m'yi aşabilir. Bu derinlikte toplam su hacminin %60'ının yer aldığı düz bir dip çanağı şeklindedir (Şekil 2.3). Kıyısız şerit (200 metre derinliğe kadar olan kesim) dar olup (kuzeybatıdaki 190-200 km genişlikteki kıyı şeridi hariç) genişliği 3-15 km arasındadır. Bu morfolojik yapı yüksek dalgaların oluşumunun nedenidir.

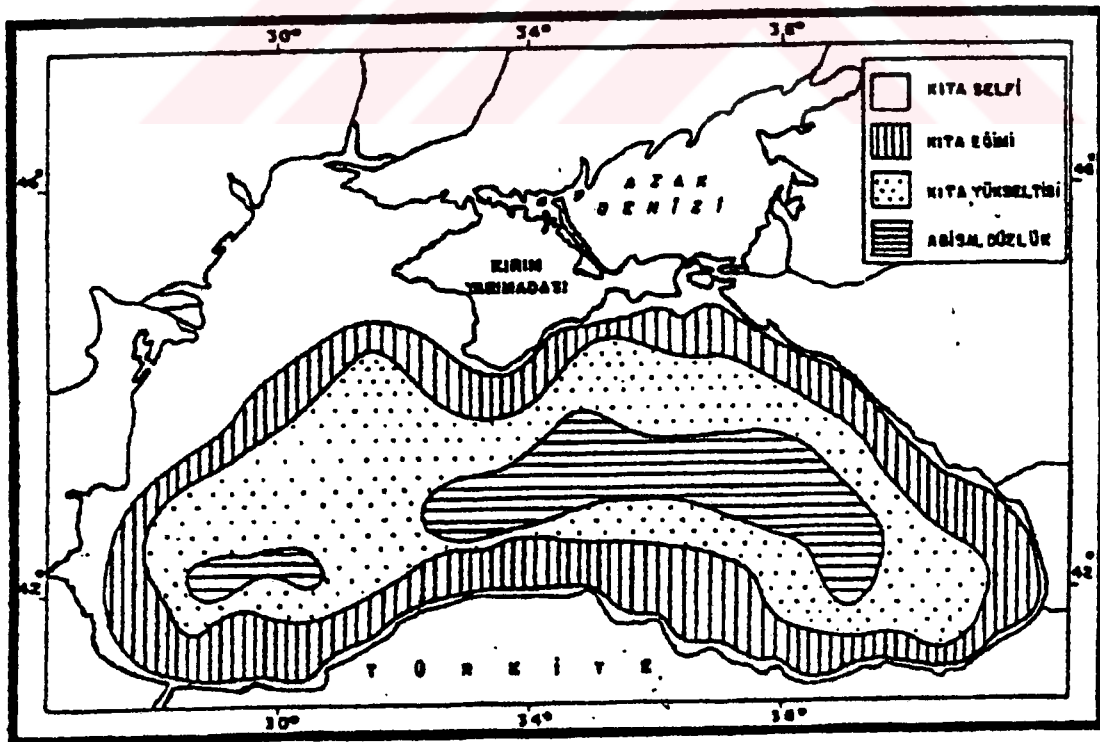
Oval biçimli iki havzanın birleşmesinden meydana gelen Karadeniz, Asya ve Avrupa kıtalarının çevrelemesiyle kıtalararası, Kuzey Anadolu, Yıldız (İstiranca), Kafkaslar ve Kırım dağları gibi dağlarla kuzey, güney ve doğudan kuşatılmış olması ile de dağlararası bir deniz özelliğini alır. Dağ yapıları, doğuda oldukça belirginken, batıda bu yapıların sular altında kalması yüzünden daha az belirgindir.

Karadeniz okyanusa sadece İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile bağlanabilmektedir. Dolayısıyla Karadeniz için yarı kapalı bir deniz denilebilir. Erinç'in (1987) bir saptamasına göre, havzanın gerek yakın jeolojik mazideki evrimi ve o sıralardaki hidrolojik özellikleri, gerekse günümüzdeki su bilançosu, gaz rejimi, ekolojik şartları, fauna ve florası bakımından özellikle İstanbul Boğazı'nın morfolojisi ve batimetrik koşulları düzenleyici ve belirleyici bir rol oynamış ve oynamaktadır.

Eskiye nazaran çok daha iyi düzenlenmiş batimetrik haritalara göre, şelfin dış kenarına Karadeniz'de, bazı yerel istisnalar dışında, -90 ilâ -100 metre derinlikte erişilmektedir. Bu gerçek, yaklaşık 25 - 30 bin yıldan beri şelfin sınırları içinde önemli bir deformasyonun meydana gelmediğine işaret eder. Şelf, Karadeniz'in Pasifik tipi kıyıları önünde son derece dar, batı ve kuzey batıdaki Atlantik tipi kıyıları önünde ise çok geniştir. Eğim azdır ve binde



Şekil 2.3a. Karadeniz'in genel batimetrisi (İSKİ, 1997)



Şekil 2.3b. Karadeniz'in hipsografik unsurları (İSKİ, 1997)

0.5 - 5 arasında değişir. Şelf bazıları oldukça derin vadilerle yarılmıştır. Bu denizaltı vadileri drenaj tipi bakımından gerideki kara üzerinde müşahade edilen akarsu şebekesine benzer ve genellikle gerideki vadilerin bir devamıdır (Erinç, 1958).

Karadeniz havzasında kıta yamacı morfolojik olarak çok belirgindir. Fakat nisbi yükseltisi, okyanuslara göre azdır ve ortalama olarak 2000 metre dolayındadır. Bununla beraber, şelfin ortadan kalktığı bazı kesimlerde (örneğin doğu Karadeniz), gerideki dağlarla abisal düzlük arasındaki seviye farkı 5 - 6 bin metreyi bulur ki, bu durumda görünüm tamamı ile okyanuslardakine benzer. Kıta yamacının profili de, tıpkı okyanuslarda olduğu gibi iç bükeydir. Kıta yamacı havzanın hemen her tarafında, şelften başlayan derin kanyonlarla yarılmış şekildedir.

Karadeniz ve Azak Denizi'nin alanları ve bu havzalarda morfolojik birimlerin genel yüzölçümündeki payları Tablo 2.1'de verilmiştir.

TABLO 2.1. Karadeniz ve Azak Denizi'nin alanları ve bu havzalarda morfolojik birimlerin genel yüzölçümündeki payları (Erinç, 1987).

Birim	Basamak m	Karadeniz		Azak		Toplam	
		Alan km ²	%	Alan km ²	%	Alan km ²	%
Şelf	0-100	101.875	24,1	36.875	100	138.750	30,2
Kıta yamacı	100-500	31.563	7,5			163.439	35,6
	500-1000	21.719	5,1				
	1000-1500	32.188	7,6				
	1500-2000	77.969	18,5				
Abisal düzlük	2000-2210	156.875	37,2			156.875	34,2
TOPLAM	0-2210	422.189	100,0	36.875	100,0	459.064	100,0

Ortalama derinlik : Karadeniz 1272 m; Azak : 7.5 m.

2.3. Karadeniz Su Kütlesindeki Hidrodinamik Özellikler

Karadeniz su kütlesinin hidrodinamik özelliklerini, su kütlesini değişik açılardan (sıcaklık - tuzluluk, içindeki erimiş gazlar, su seviyesi ve akıntılar) inceleyerek belirlemek daha anlaşılır olacaktır.

2.3.1. Karadeniz'in su seviyesi değişimleri ve su bütçesi

Karadeniz'in oşinografik yapısı, coğrafik konuma, dip ve kıyı rölyefine ve su alışverişine bağlıdır. Bir çok araştırmacı, Karadeniz'in su bilançosu hakkında incelemelerde bulunmuştur. Bunlardan en son Gönenç ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaların sonuçları Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Karadeniz'in su bütçesi (Gönenç v.d., 1996)

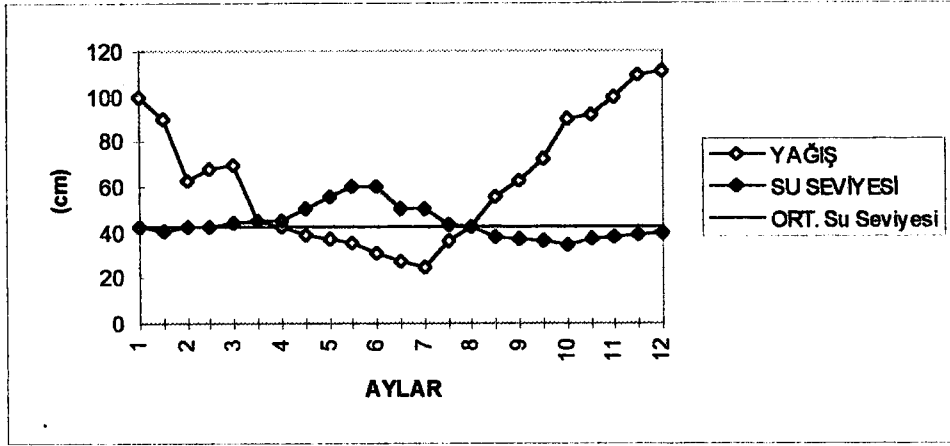
KAYNAK	GİREN milyon m ³ / yıl	ÇIKAN milyon m ³ / yıl
Yüzey Akış	310.0	--
Yağış	230.0	--
Buharlaşıma	--	360.0
ARA TOPLAM	540.0	360.0
Azak Denizi'ne Deşarj	--	33.8
Azak Denizi'nden Gelen	49.2	--
Marmara Denizi'ne Boşalan	--	398.0
Marmara Denizi'nden Gelen	193.0	--
GENEL TOPLAM	782.2	791.8

Karadeniz'e giren en yüksek su miktarlarının sırasıyla akarsu ve yağışlarla sağlanan tatlı su girişi ile (ki bu girişlerin yaklaşık % 50'sini Tuna oluşturur) alt akıntılarla Marmara Denizi'ne taşınan, Akdeniz kaynaklı su olduğu görülmektedir. Buna karşılık, Karadeniz'in su bilançosunda; çıkan en yüksek su miktarlarının ise, İstanbul Boğazı kanalı ile Marmara'ya

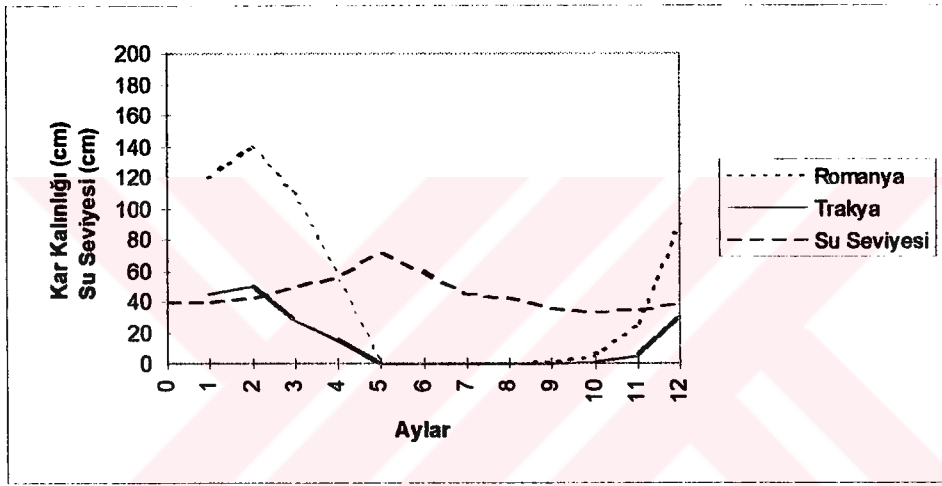
taşınan sularla, buharlaşmayla çıkan su miktarları olduğu gözlenmektedir. Akarsu ve Boğaz kaynaklı sular, bölgenin yerel akıntı yapısını da etkileyebilmektedirler.

Bölgenin aylık ortalama yağış miktarları ile su seviyesi değişimleri karşılaştırıldığında, yağış ile su seviyesi ilişkisinde maksimumlar arasında 6, minimumlar arasında ise yaklaşık 3 aylık bir faz farkı olduğu görülür (Şekil 2.4a). Örneğin, yıl içerisinde en düşük ortalama yağış miktarları 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, bölgeye önemli miktarda su taşıyan akarsuların, ilkbahar ve yaz başlangıcı aylarda karların erimesi ve buzların çözülmesi ile yüksek oranda tatlı su taşıyarak, su seviyesini Karadeniz lehine yükselttiklerini göstermektedir (Şekil 2.4b). Sonbahar ve kış aylarında Karadeniz'in genelinde su seviyesinin minimum olması da, bu görüşü desteklemektedir. Şekil 2.4a ve 2.4b birlikte incelendiğinde, kar kalınlığının ilkbahar sonu yaz aylarında erimeler nedeni ile minimum, Karadeniz su seviyesinin ise aynı aylarda en yüksek olduğu gözlenmektedir. Buna karşılık kış aylarında, kar örtüsünün kalınlığı artarken, akarsuların akış miktarları azalmakta ve sonuç olarak Karadeniz su seviyesinde Marmara Denizi'ne nazaran düşüş gözlenmektedir. Bu durum Karadeniz ve Marmara Denizi'nde yapılan ölçümlerden de açıkça görülmektedir (Şekil 2.4c).

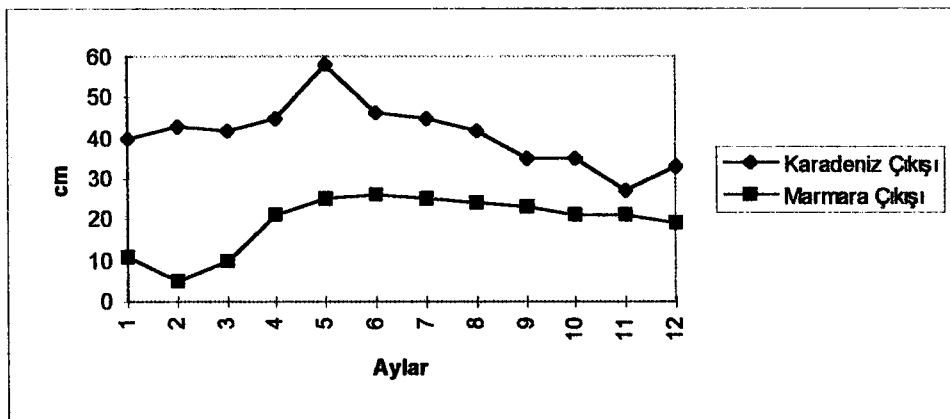
Her ne kadar Karadeniz'le Azak Denizi'nde gel-git'in etkisi yok denecek kadar azsa da (batı Karadeniz'de gel-git değişimi 8 cm kadardır), bu denizlerde su seviyesini değiştirebilen başka olaylar mevcuttur. Bunlar kısa süreli olup, kıyıya yakın yerlerde meydana gelirler. Seviye değişimini oluşturan başlıca kuvvetler, bir yönden devamlı surette esen rüzgarlar ile iki nokta arasındaki basınç farkıdır. Bu sebeplerden meydana gelen seviye değişimi 10 ilâ 30 santimetre kadardır. Fakat bazı olağandışı durumlarda, şiddetli fırtınalar sırasında bu değişim 1 metreyi bulabilir (Ardel, 1957). Bütün bunların dışında Karadeniz'in su seviyesini değiştiren diğer etkenler arasında; Karadeniz ile Azak Denizi'ne dökülen nehirlerin getirdikleri sular, havzanın bütününe veyahutta bir kısmına düşen yağışın senelik veya mevsimlik miktarları ve son olarakta zelzele dalgaları sayılabilir.



Şekil 2.4a. Karadeniz'de yağış ve su seviyesinin yıl içinde değişimi (İSKİ, 1997)



Şekil 2.4b. Karadeniz kıyılarında kar kalınlıkları ve su seviyesinin yıl içinde değişimi (İSKİ, 1997)



Şekil 2.4c. Karadeniz ve Marmara Denizi'nde aylık su seviyesi değişimleri (İSKİ, 1997)

İSKİ'nin 1997 yılında yaptırdığı bir araştırmaya göre, Karadeniz'de su seviyesinde yükselme hızları 0.1-12.2 mm/yıl arasında ölçülmüştür. Dağlık karasal kesimlerin kıyılarında su seviyesi farkı 0.2 - 0.3 metreye ulaşabilir. Hatta Romanya kıyılarında bu değer 0.5 - 0.7 metredir. İstanbul Karadeniz kıyıları ile İstanbul Boğazı güney ucu arasındaki su seviyesi farkları da 0.1-0.6 metre arasında değişmektedir.

Karadeniz'in batı kesiminde dalga yüksekliği kış aylarında 6 - 8 metreye ulaşır. Maksimum dalga yüksekliği 14 metre olarak ölçülmüştür. Bu önemli dalga yüksekliklerinin deşarj borularına etkisi dikkate alınmalıdır.

Karadeniz'in kuzey kıyıları zaman zaman buzla kaplanabilmektedir. Bu duruma en çok Karkinit Körfezi dışında rastlanmaktadır. Kuzeydeki akarsular da Karadeniz'e buz taşımaktadır. Buz kalınlığı kuzey kıyılarında 0.3 metreye ulaşmaktadır. Buzlanmanın son elli yılda bir kez de Boğaz'da etkili olduğu tarihten hatırlanabilecektir.

2.3.2. Karadeniz çanağındaki akıntılar

Karadeniz'e dökülen akarsular ve havzanın yüzeyine düşen bol yağış, buharlaşma ile alınan suyu (Ardel, 1957 çalışmalarında senelik miktarı 354 km^3 olarak vermektedir ve buda aşağı yukarı 840 mm yüksekliğinde bir su tabakasına tekabül eder) telâfi etmenin yanı sıra, bu denizin seviyesinin Marmara ve Ege denizlerinin seviyelerinden 50 cm kadar yüksek de bulunmasına da sebep olur. İşte bu seviye farkı, Karadeniz'in batı kısmında İstanbul Boğazı'na doğru umumi bir akıntının meydana gelmesinde esas faktördür (Ardel, 1957). Bu akıntı özellikle Tuna nehrinin debisinin fazla olduğu ilkbahar aylarında daha kuvvetlidir. Ardel'in 1957 yılı basımı Umumi Coğrafya Dersleri adlı eserinde bahsettiği Merz - Möller'in hesaplarına göre, kuzey ve kuzeydoğu rüzgarlarının şiddeti 1.5 m/sn iken Karadeniz'den boğaza giren suyun miktarı ortalama olarak $11050 \text{ m}^3/\text{sn}$, $3 - 4.5 \text{ m/sn}$ iken $12660 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dır. Makarof'a göre bu miktar $9990 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'dır. Yine ona göre bu miktar senede 400 km^3 'dür.

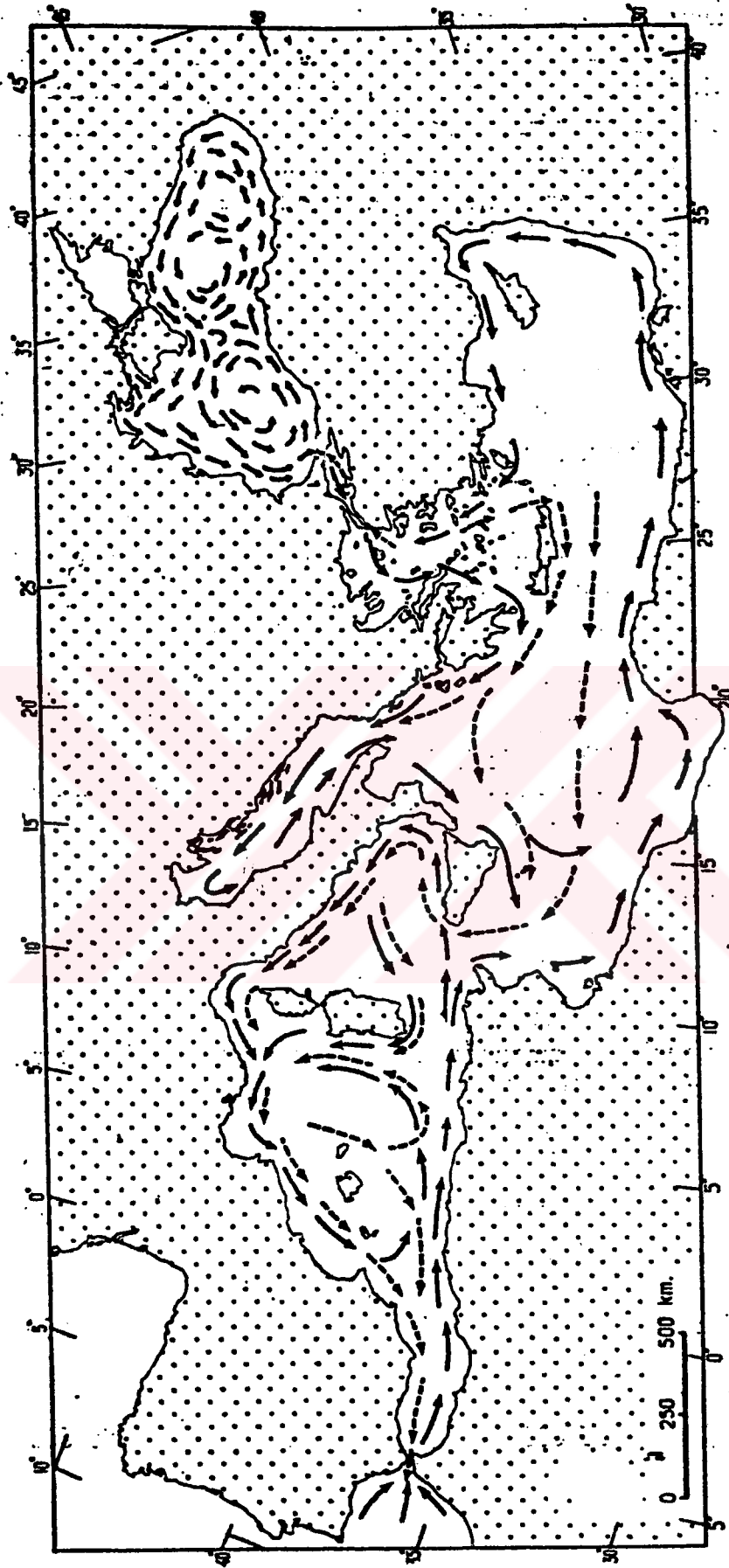
Çalışmalardan da anlaşılabileceği gibi, akıntıların debileri o sıradaki hakim rüzgarın yönü ve şiddetine de bağlıdır. Kuzey rüzgarları estiği zaman akıntının hızı fazlalaştığı gibi, taşıdığı su miktarıda artar. Sâkin havalarda bu miktar yarı yarıya azalmakta, güney rüzgarları estiği zaman çok azalmakta ve hâttâ şiddetli ve sürekli lodos fırtınaları esnasında Boğaz içinde

Karadeniz menşeli suların (üst akıntı) ortadan kalktığı ve onun yerine ters yönde, yani güneyden kuzeye doğru bir akıntının (Orkoz) hakim olduğu görülmektedir.

Karadeniz'in kuzeybatısı ile batısından İstanbul Boğazı'na doğru yol alan suların bir kısmı Boğaza girerek Marmara ve Akdeniz'e giden üst akıntıyı meydana getirirler. Diğer bir kısmı da doğuya doğru atılarak Anadolu kıyıları boyunca düzgün bir hızla (saatte 1.3 km) bir akıntı meydana getirirler. Sinop'un biraz batısında bu ana akıntıdan ayrılan bir kol Kırım'a doğru Karadeniz'i verevine keser ve bu yarımada'nın güneyinde, Kafkas kıyılarını yalayıp gelen esas akıntıya karışır. Doğuya doğru giden esas akıntıyı Anadolu'nun akarsuları (Sakarya, Filyos, Kızılırmak, Yeşilırmak, Çoruh) beslerler. Kafkasya kıyılarında olduğu gibi burada da kıyıya dökülen nehirlerin, akıntının hızı üzerinde arttırıcı bir etkiye sahip oldukları söylenebilir.

Havzanın şeklinden dolayı Hopa'dan sonra kuzeye doğru istikamet değiştiren akıntının Çoruh, Rion ve Kafkaslar'dan inen diğer akarsuların taşıdıkları sularla hızı artar. Yine kıyının dış şekline uyan akıntı kuzeybatıya doğru yol alır. Kerç Boğazı'ndan itibaren Azak Denizi'nden gelen üst akıntı bu ana akıntıyı takviye eder. Kırım yarımadasının dış şekline uyan akıntı güneye doğru kıvrılır ve yarımada'nın güney ucunu döndükten sonra ikiye ayrılır; bir kol, havzanın batı kıyısını takip ederek İstanbul Boğazı'na giden akıntıya katılmak üzere kuzeybatı ve batı istikametini alır; diğer kol, kuzey-güney istikametini alır ve Anadolu kıyılarını takip eden esas akıntıya karışır.

Karadeniz'de bu denizin çevresini bir saat akrebinin aksi yönünde dolaşan umumi bir akıntı sistemi vardır. Bununla beraber, bu umumi sistem içinde de ikinci derecede bir takım sistemler mevcuttur. Gerçekten Sivastopol'dan geçen meridyenin doğu ve batısında kalan parçalarda birbirinden ayrı, fakat istikâmetleri aynı olan iki akıntı sistemi incelenmiştir. Ayrıca bu sistemler içinde de, yön olarak ters akıntılar vardır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6). Buralarda hızlar 100 metre derinlikte % 50 oranında azalır. Daha derinlerde 0.10 m/s'ye düşer. 500 metre ile 1000 metre derinlikte ise ortalama hız 0.025 m/s'dir. Hızlar 0.15 - 0.30 m/s arasında olup; rüzgar, drift ve akarsu akımları olarak sınıflandırılır. Çevrinti akımları kıyılardan itibaren 40 - 80 km'lik bir bant içinde gelişmektedir. Doğru ve batı çevrimleri önemli mevsimsel değişimler gösterir. Kış aylarında, güçlü rüzgarlar, bu çevrimleri etkiler. Yaz çevrimleri ise iki ayrı siklonik çevrideki zayıf akımlarla tanımlanmaktadır. Ancak kıyılarda



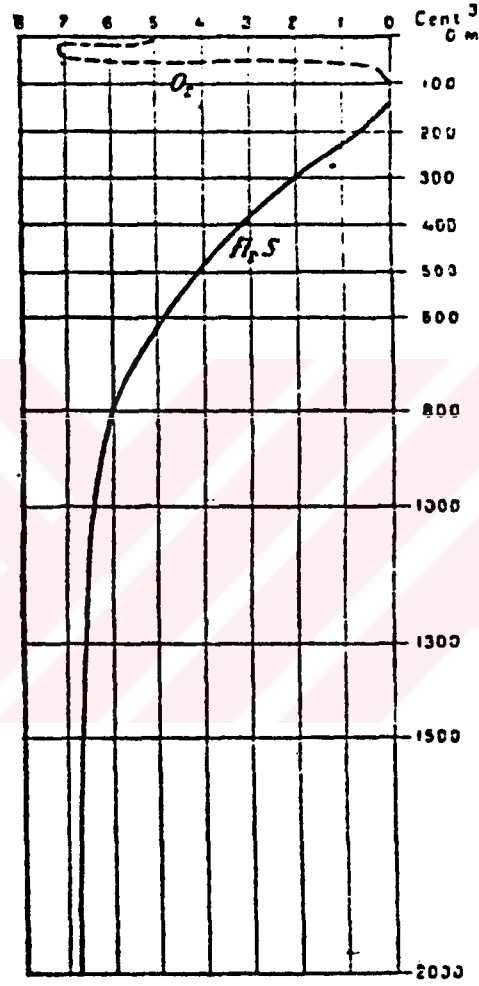
Şekil 2.5. Karadeniz ve Akdeniz ile civar denizlerdeki akıntılar (Ardel, 1957)

gelişme büyük oranda dalga akımlarından etkilenir. Dalga akımları genelde 6 metre derinliğe kadar etkiliyken, bazı alanlarda 16 - 20 metreye kadar ulaşmaktadır. Herhangi bir deşarj öncesi İstanbul, Karadeniz kıyılarında bu çevrinti akımlarının uzun dönemde ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir.

2.3.3. Karadeniz su kütlesinde erimiş halde bulunan gazlar

Atmosferle çok geniş bir yüzeyle temas halinde olan deniz suyu, havadaki gazları erimiş halde bünyesine alırlar. Genellikle deniz suyundaki azot miktarı çok büyük değişiklikler göstermez ve erimiş azotun miktarı su derinliğine bağlı değildir. Ancak 1957 yılında Ardel'in çalışmalarında bahsettiği Karadeniz suyu tahlillerine göre, Karadeniz'in bütün su kütlesi azotla doymuş olmakla beraber, miktar, yüzeyden dibe doğru artmaktadır. Bu durum, nitratların redüksiyonu ve organik maddelerin ayrışımı neticesidir. Karadeniz sularında karbonik asitlerde derinlikle artmaktadır. Bu hal, yine organik maddelerin ayrışımı ve sülfatların redüksiyon'undan ileri gelmektedir.

Bu denizde oksijen yalnız yüzey sularında vardır. 70 ilâ 120 metre derinlikler altında oksijen miktarı süratle azalır. Karadeniz'de oksijenin yüzeye çok yakın noktalarda (150-220 metre) ortadan kalkmasının sebebi, bu denizde tuzluluk tabakalaşmasının ve dolayısı ile yoğunluk farklarının, belirli bir derinlikten sonra, suyun devamlı olarak havalanmasını sağlayan dikey doğrultudaki sirkülasyonun oluşumunu engellemesidir. Kışın, soğuk olan yüzey suyu tabakaları yaz mevsimininkinden daha yoğun olmalarına rağmen, derin tabakalar daima ağır olduklarından böyle bir sirkülasyona imkân vermemektedir. Açıkta, takriben 180 metrenin altında, oksijen tamamen kaybolmakta ve hidrojen sülfür (H_2S) başlamaktadır. Bu zehirli gazın miktarı derinlikle artmakta ve dibe yakın yerlerde litrede 7 cm^3 'ü bulmaktadır. Karadeniz'in derin sularında hidrojen sülfürün varlığı 1890'da anlaşılmış ve o zaman bunun denizin dibindeki durgun sularda organik maddelerin çürümesi ile meydana geldiği kabul edilmişti. Karadenizdeki hidrojen sülfürün önemli bir miktarı, sülfatların redüksiyonu ile de meydana gelmiştir. Bu oluşumdaki esas rolü anaerobik bakteriler üstlenmektedir. Karadeniz'de oksijenle hidrojen sülfürün olduğu bölge arasındaki hudut yaşam sınırını da belirler. Zira hidrojen sülfürün olduğu yerde hayat devam edememektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Karadeniz'de 4/7/1924 'de 43° 47' N enlemi ile 37° 36' E boylamında bulunan noktada gözlenen oksijen ve hidrojen sülfürün dağılışı, (Ardel, 1957).

Bu şekle göre;

1. Kalınlığı 180 - 200 metre kadar olan yüzey kısmında oksijen bol miktarda mevcuttur ve bundan dolayı mikroskopik hayvan kümeleri (plankton) açısından zengindir.
2. Bunun altında bulunan ve kalınlığı 2000 metre kadar olan alt tabaka, bakterilerin meydana getirdikleri hidrojen sülfürle zehirlenmiştir.

Tablo 2.3’de Karadeniz ve Azak Denizi’nin hacimleri ve burdaki mevcut su kütlelerinin payı ile tipi hakkında bilgi yer almaktadır.

TABLO 2.3. Karadeniz ve Azak Denizi’nin hacimleri ve bu çanaklardaki muhtelif su kütlelerinin payları (Erinç, 1987).

Su Kütlesi	Derinlik m	KARADENİZ		AZAK DENİZİ		TOPLAM	
		Hacim Km ³	%	Hacim Km ³	%	Hacim Km ³	%
Üst tabaka (Oksijenli)	0-100	37,125	6.9	281	100	37,406	7.0
Derin su (Anoxik)	0-2000	484,156	90.2			484,156	90.1
Dip suyu (Anoksik)	2000-2210	15,688	2.9			15,688	2.9
TOPLAM	0-2210	537	100.0	281	100	537,3	100.0

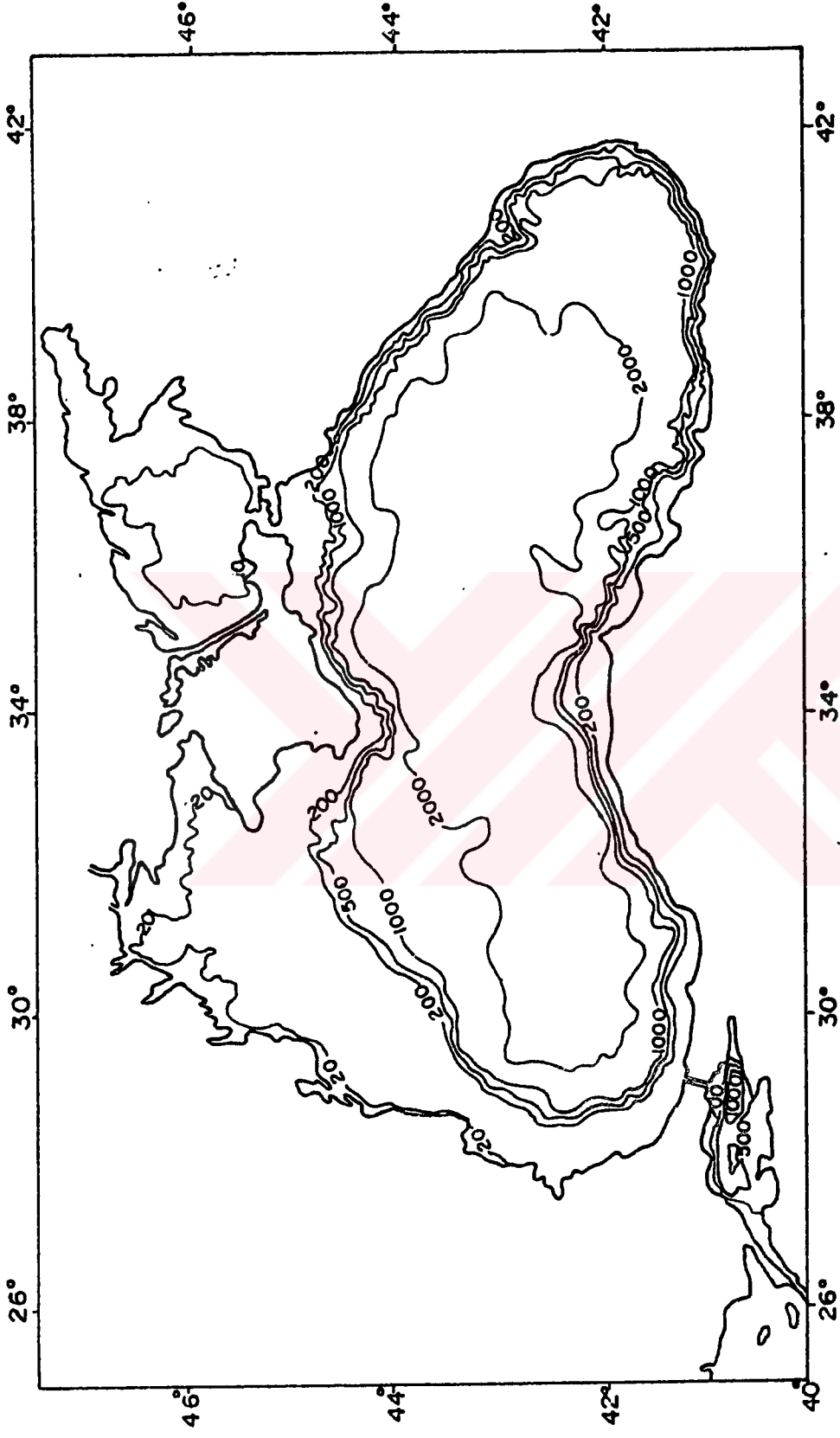
Tablodan da anlaşılabileceği gibi, araştırmaların (Fonselius, 1974) ortaya koyduğu bazı bulgulara dayanarak (örneğin dibe yakın suların çok yüksek PO₄ ve H₂S konsantrasyonları gibi), anoxik su kütlelerinin derin su ve dip suyu olmak üzere ikiye ayrılabilceği ve bu iki anoxik kütle arasındaki sınırın yaklaşık 2000 metre derinlikten geçtiği varsayılarak bunların hacimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Erinç'in yukarda bahsedilen çalışmasının sonuçları tartışmaya açık olsada, yaptığı hesaplara göre, Karadeniz'de aerobik canlıların yaşadığı oksijenli yüzeysel suların hacmi sadece $37,125 \text{ km}^3$ 'den ibarettir. Bu asıl Karadeniz su kütlelerinin ancak % 6.9'una, Azak ile birlikte % 7'sine eşit bir hacimdir. Başka bir ifade ile, daha öncede bahsedildiği gibi, Karadeniz'de normal hayat alanı düşey doğrultuda çok sınırlıdır. Havzanın en büyük kısmı anoxik derin sular (% 90.2) ve daha da yoğun anoxik dip suları (%2.9) tarafından işgal edilmiştir. Bu durum uzun bir süre, Karadeniz'in potansiyelini kısıtlayan çok olumsuz bir gerçek olarak kabul edilmiştir. Fakat bazı araştırmalar durumun bu kadar vahim olmadığını, tersine anoxik su kütlelerinin yüzeysel su kütlelerine organik ve inorganik besin maddeleri sağlayan bir depo rolü oynadığını göstermektedir.

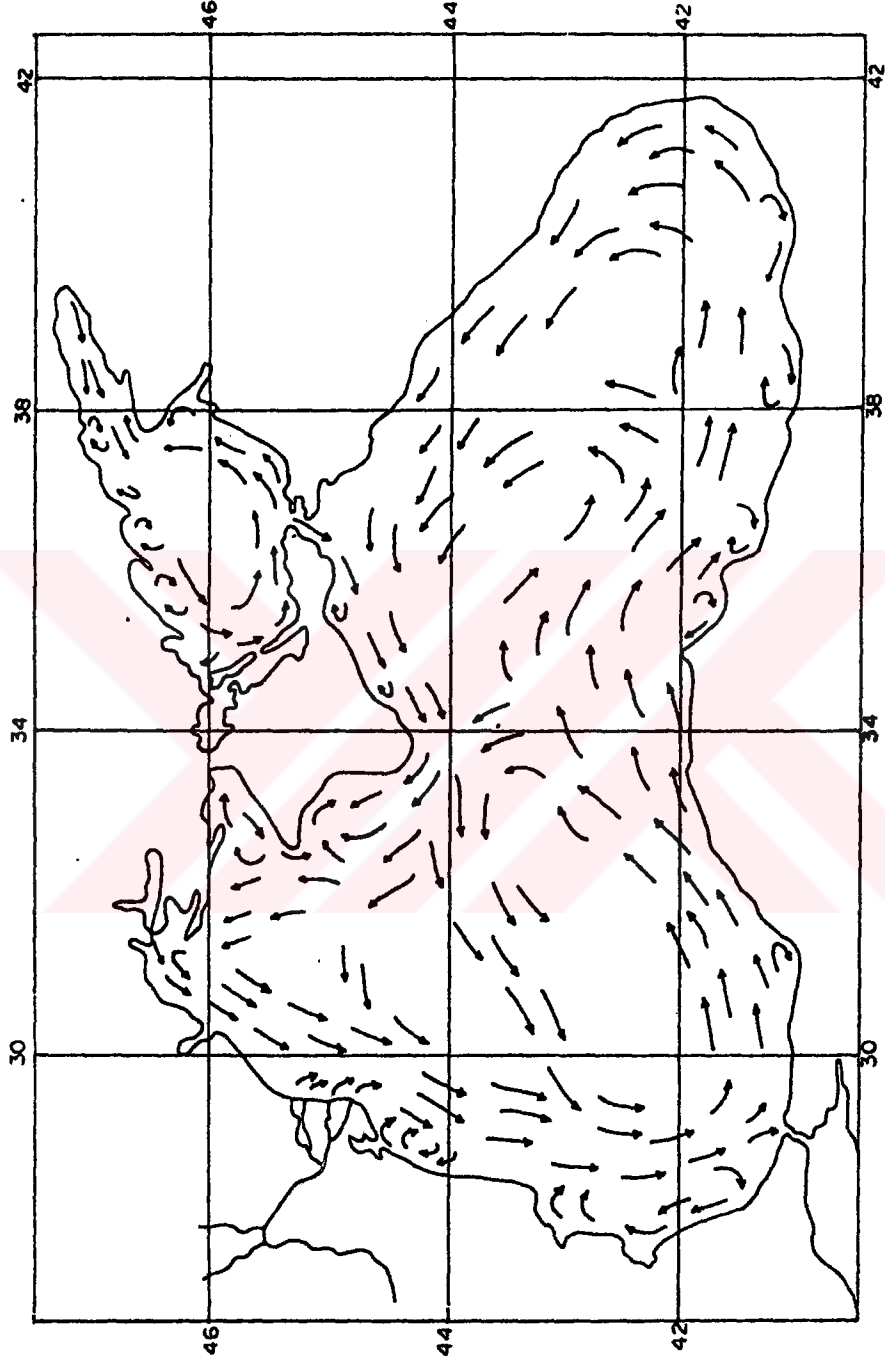
2.3.4. Karadeniz su kütlelerinin sıcaklık - tuzluluk değişim özellikleri ve tabakalaşma karakteri

Karadeniz'de yağış ve akarsulardan kaynaklanan tatlı su girdileri, buharlaşma ile meydana gelen kayıplardan fazladır. Karadeniz'in yüzeyinde az tuzlu su bulunur. Karadeniz'in kuzey batısındaki bazı bölgeler hariç kış soğuması düşük tuzluluktaki yüzey sularının yoğunluğunu karasız durum yaratacak şekilde arttıramaz. Bu nedenle üst ve alt su kütleleri arasında dikey su hareketleri oluşmaz. Üst ve alt su kütleleri arasında dikey su hareketlerinin olmaması nedeniyle Karadeniz'de az tuzlu yüzey suları alt tabakalardaki derin dip suları ile karışamaz. Karadeniz'de düşey sirkülasyonun 200 metre ile sınırlı olması nedeniyle alt tabakalarda organik madde yüksek konsantrasyonlarda birikir ve diğer denizlerde olduğu gibi yüzeye çıkamaz. Belirli bir derinlikten sonra çözünmüş oksijen yerine hidrojen sülfür gözlenir (Şekil 2.7). Anaerobik koşulların sonucu oluşan hidrojen sülfür, bütün Karadeniz'de gözlenir. İstanbul Boğazı ile taşınan tuzlu su ve yoğun Akdeniz suyu Güney Batı Karadeniz'de en fazla 100 metre derinliğe kadar ulaşan, Doğu Anadolu kıyılarına göre geniş olan sahanlık alanında yüzey suyu tabakasında Karadeniz'e girer. (Şekil 2.8 ve Şekil 2.9).

Karadeniz'de yüzey suyu sıcaklık değişimi Şekil 2.10'da verilmiştir. Karadeniz ve Azak Denizi'nin bazı bölgelerinin buzla kaplandığı Şubat ayında, kuzeybatıdan güneydoğuya gidildikçe yüzey suyu sıcaklığı 0°C 'den 8°C 'ye kadar artar (Şekil 2.10a).



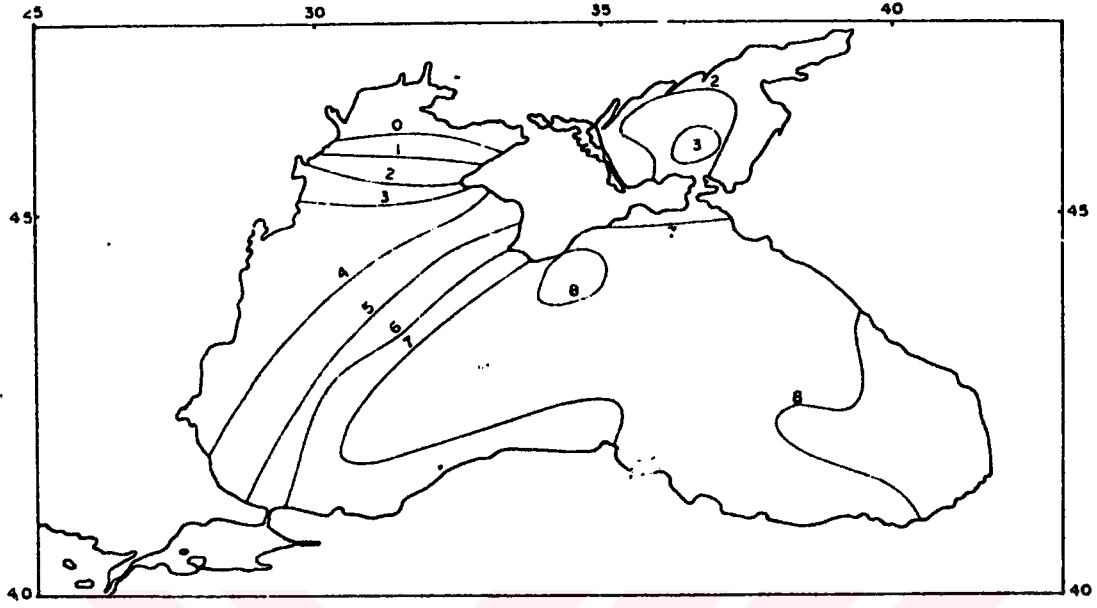
Şekil 2.8. Karadeniz'in batimetrisi (Yüce, 1987)



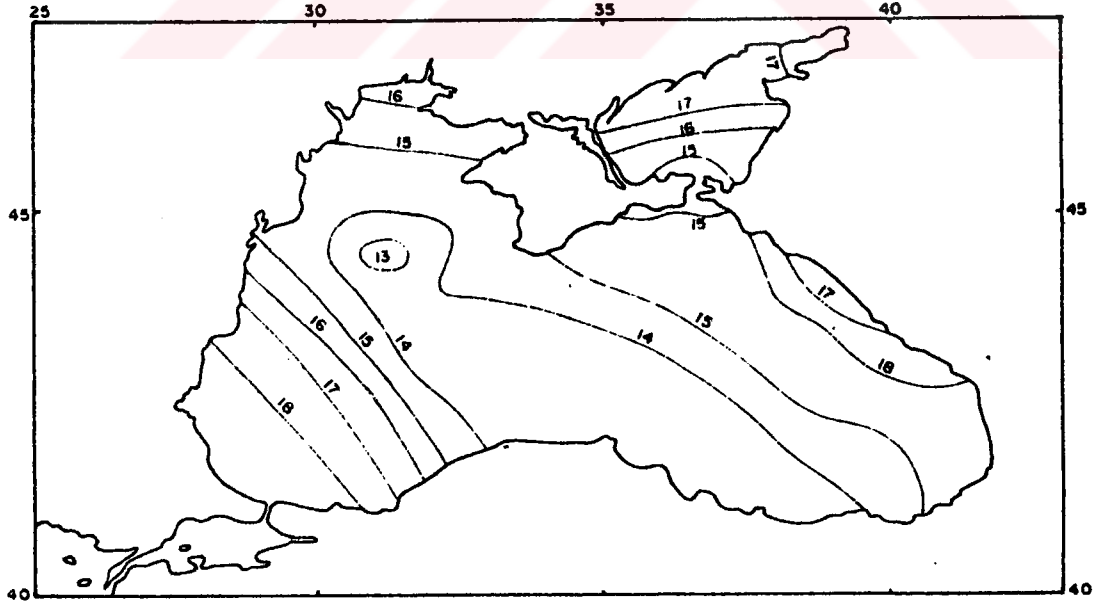
Şekil 2.9. Karadeniz yüzey suyu sirkülasyonu (Yüce, 1987)

Yüce'nin çalışmaların da, Mayıs ayında Karadeniz'in kuzeybatısında yüzey suyu sıcaklığı 13 °C, İstanbul Boğazı açıklarında 17 - 17.5 °C ve Doğu Karadeniz'de 17 °C civarında olarak belirtilmiştir (Şekil 2.10b). Ağustos ayında yüzey suyu sıcaklığı kuzeybatıda 22 °C, Kırım Yarımadası güneyinde 23 °C, güneybatıda 24 °C, doğuda 25 °C'dir (Şekil 2.10c). Çok süratli yüzey suyu soğuması gözlenen Kasım ayında sıcaklık, kuzeybatıda 10 °C, Kırım Yarımadası kıyılarında 14 °C ve Türkiye kıyılarında 17 °C'dir (Şekil 2.10d). Sıcaklık batıda enlemsel bir dağılım gösterir. Karadeniz'de yüzey suyu tuzluluk değerleri kuzeybatıda ve kuzeyde Azak Denizi'nde düşüktür. **Kuzeyden güneye gidildikçe tuzluluk artar.** Şubat ayında Karadeniz'in kuzeybatısında ‰ 16-18 tuzluluk değerleri gözlenirken, Türkiye kıyılarında ‰ 18.25 değerini alır (Şekil 2.11a). İlkbaharda artan nehir girdileri kuzeybatıda etkili olan tuzluluk düşüşlerine neden olur. Mayıs ayında kuzeybatı kıyılarında ‰ 13 tuzluluk değerleri gözlenirken, açıklarda ‰ 17, güneyde ‰ 18 tuzluluk değerleri gözlenir. Ağustos ayında ortalarda yüzey tuzluluğu ‰ 18 civarında İstanbul Boğazı çevresinde ‰ 17-17.5. Kuzeybatıda nehirlerin etkisi ile kıyı yakınlarında ‰ 13'dür (Şekil 2.11b). Kasım ayında doğuda kuzeyden güneye tuzluluk ‰ 18 değerine yükselmekte ve daha sonrada azalmaktadır. Ancak büyük bir kısımda tuzluluk ‰ 17'nin üzerindedir. Batıda İstanbul Boğazı'nı da etkileyen bir alanda tuzluluk ‰ 18'den kısmen yüksektir (Şekil 2.11d). Şubat, Mayıs, Ağustos ve Kasım aylarına ait yüzey suyu yoğunluk dağılımları Şekil 2.12'de gösterilmiştir. Yüzey yoğunluğu kış soğuması ve artan tuzluluk, nehir girdilerinin azalması nedeni ile en yüksek değerlerini almaktadır. Şubat ayında yoğunluk sigma-t birimi olarak 14.00 - 14.25 değerleri arasında değişmektedir (Şekil 2.12a). **Sigma-t birimi olarak 28.25 yoğunluk değeri 1.02825'dir.** Nehir girdileri ile Mayıs ayında yüzey yoğunlukları sigma-t birimi olarak yakın kıyılarda 5.0, açıklarda 11.0, doğu ve kuzeydoğuda 11.0 ve 13.0 değerlerini almaktadır (Şekil 2.12b). Ağustos ayında yoğunluk kuzeybatı ve kuzeydoğuda 10.0, doğuda 11.25 değerini almaktadır (Şekil 2.12c). Kasım ayında Karadeniz'in kuzeybatısında yoğunluk 9.0 ve açıkta 12.0, güneyde ise 13.0 ve 13.25 arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 2.12d).

Yüce (1987)'nin çalışmalarından yararlandığı Novitsky, Karadeniz'de 48 istasyon verilerine göre 5 ayrı su kütlesi tanımlamıştır. Novitsky'e göre bu su kütleleri; yüzey suyu, soğuk ara tabaka suyu, karışım tabakası suyu, derin ve dip suyudur. Novitsky bulgularına göre; yüzey suyu 25-35 metre derinliğe kadar gözlenir. Karadeniz yüzey suyu ortalama aylık sıcaklığı bir yıl içinde kış mevsiminde 9-10 °C, yaz mevsiminde 24-25 °C'dir. Aylık ortalama tuzluluk ‰ 18 ile ‰ 18.5 arasında değişir. Yüzey suyu altında soğuk ara tabaka suyu

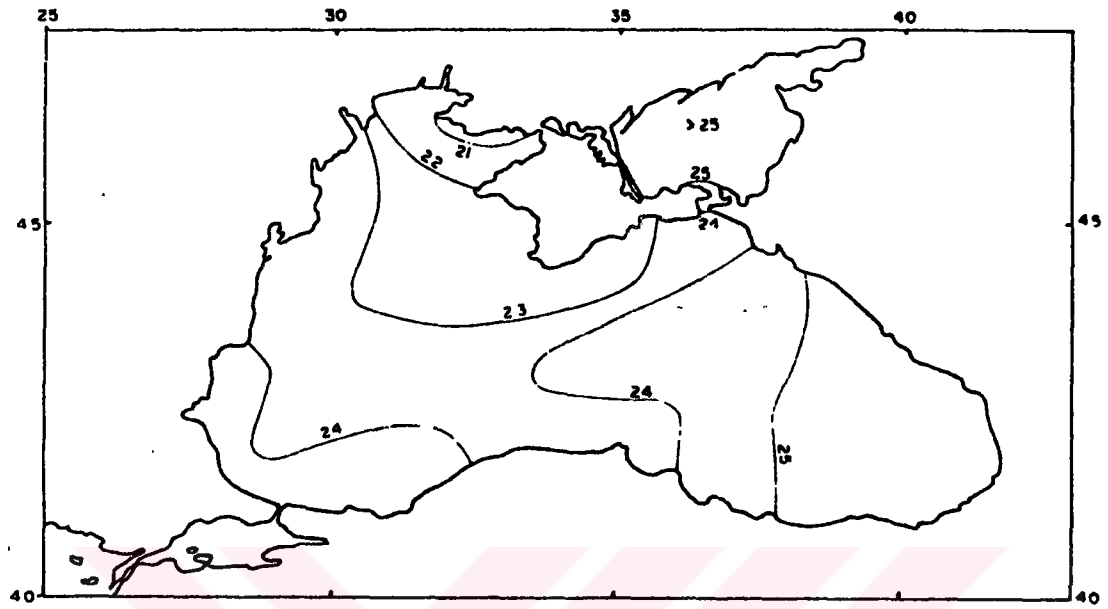


(a) Şubat

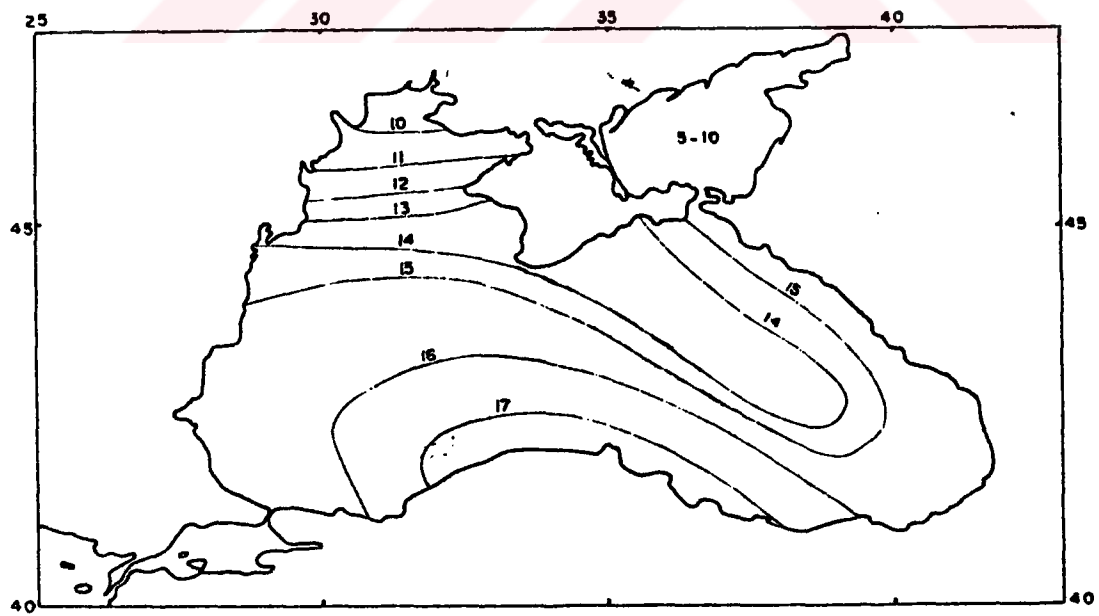


(B) Mayıs

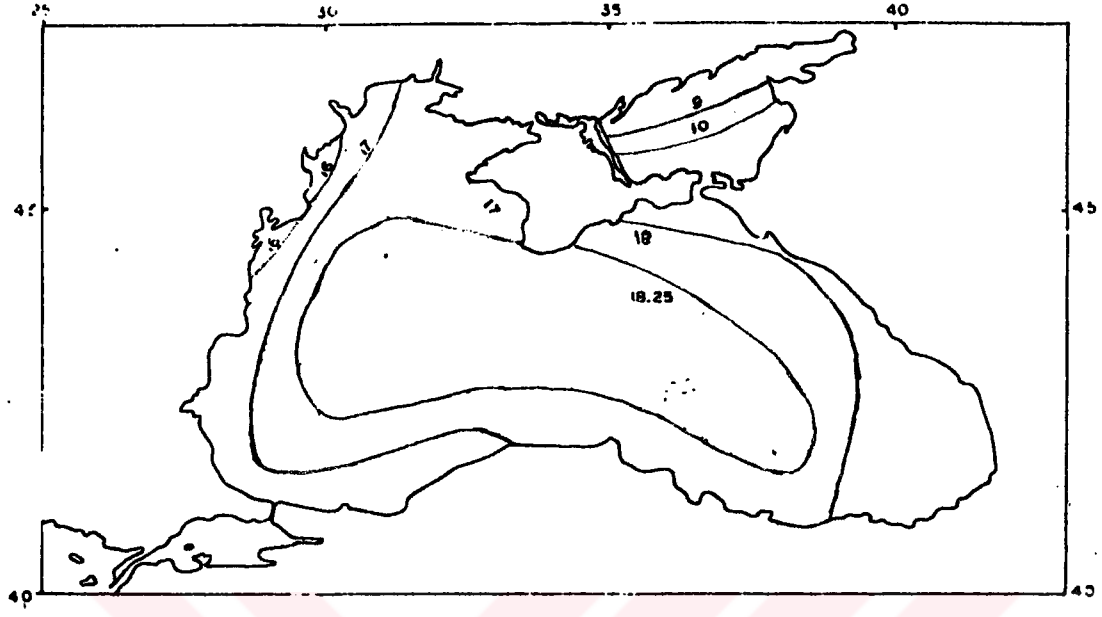
Şekil 2.10. Karadeniz'in yüzey suyu sıcaklığı (Yüce, 1987)



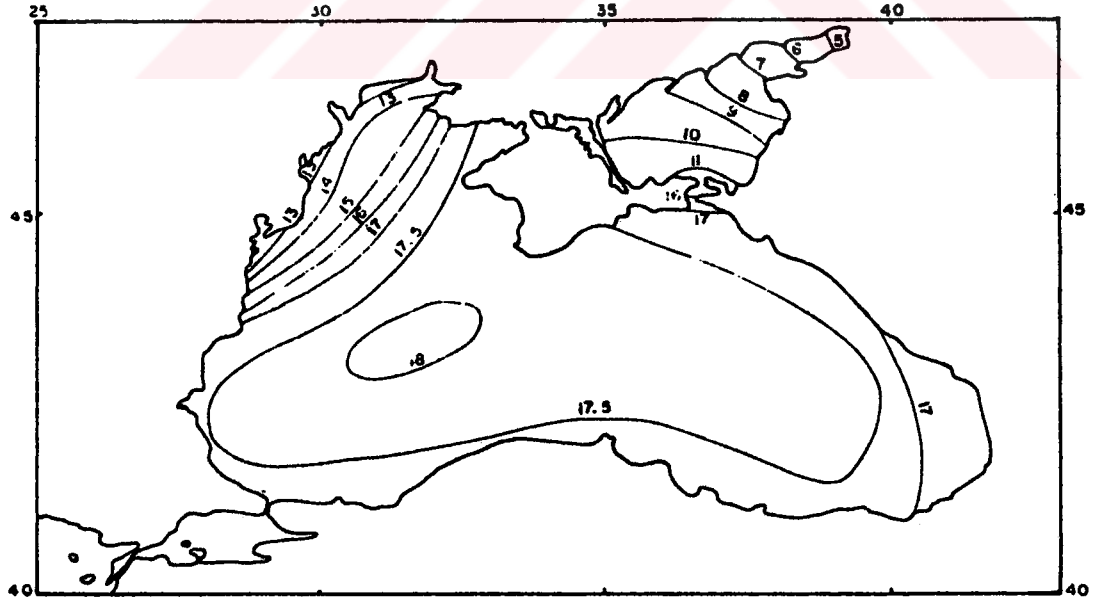
(c) Ağustos



(d) Kasım

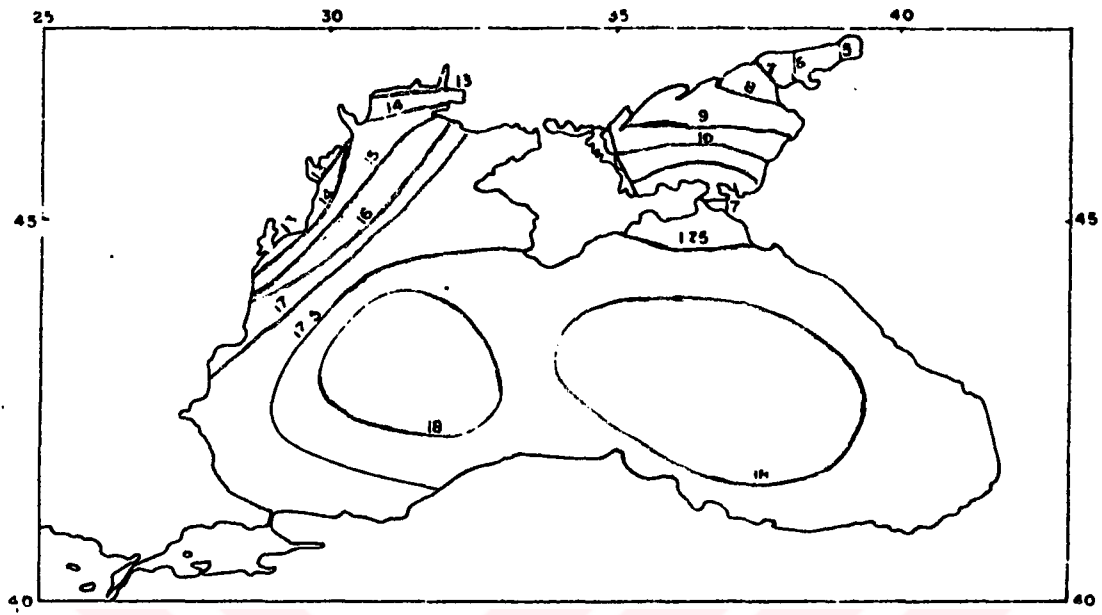


(a) Şubat

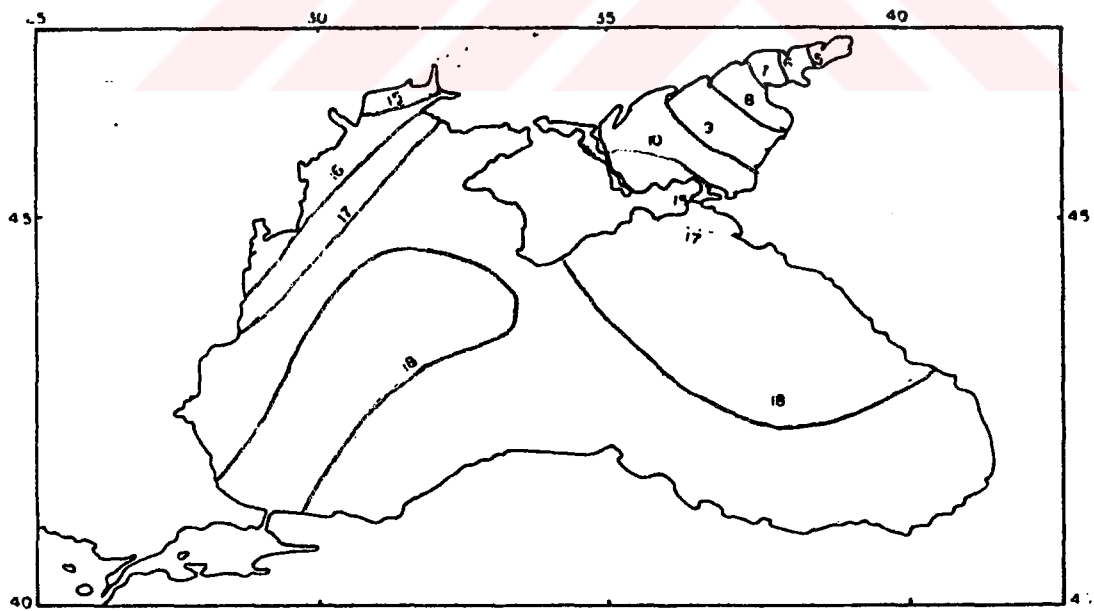


(b) Mayıs

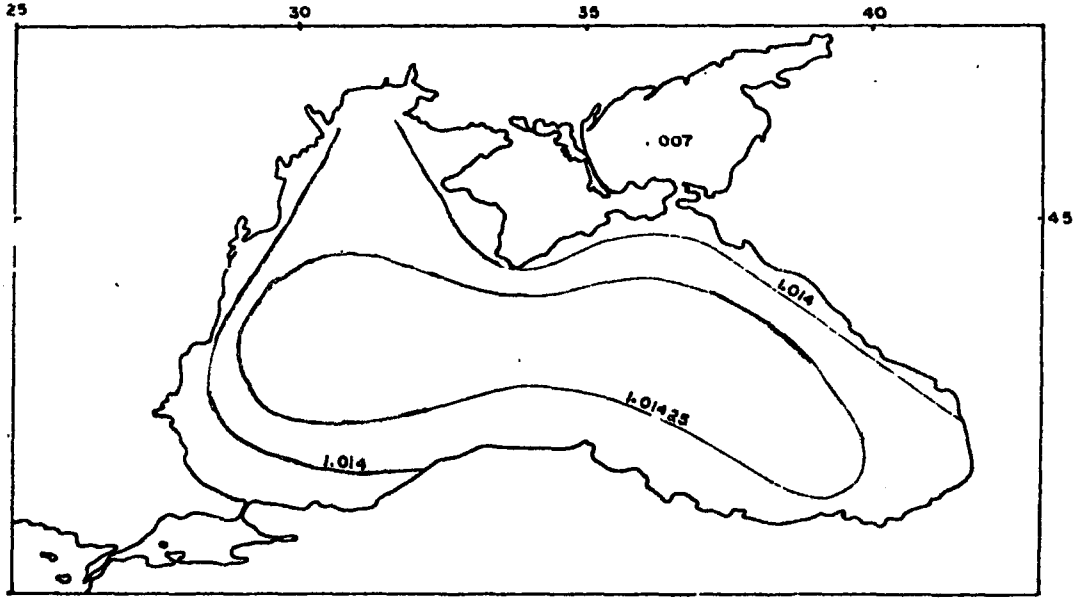
Şekil 2.11. Karadeniz'in yüzey suyu tuzluluğu (Yüce, 1987)



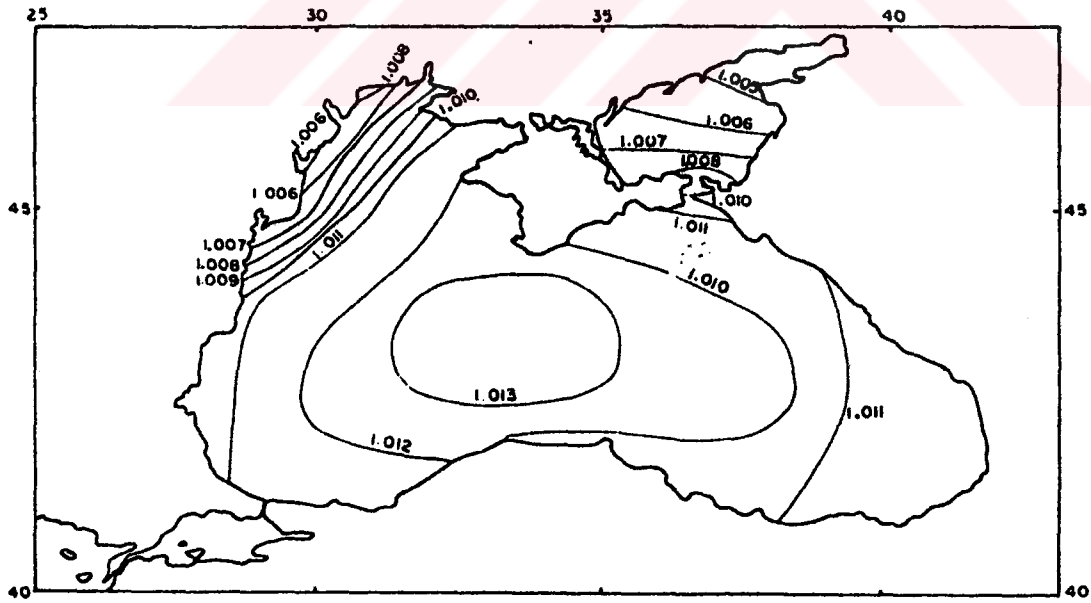
(c) Ağustos



(d) Kasım

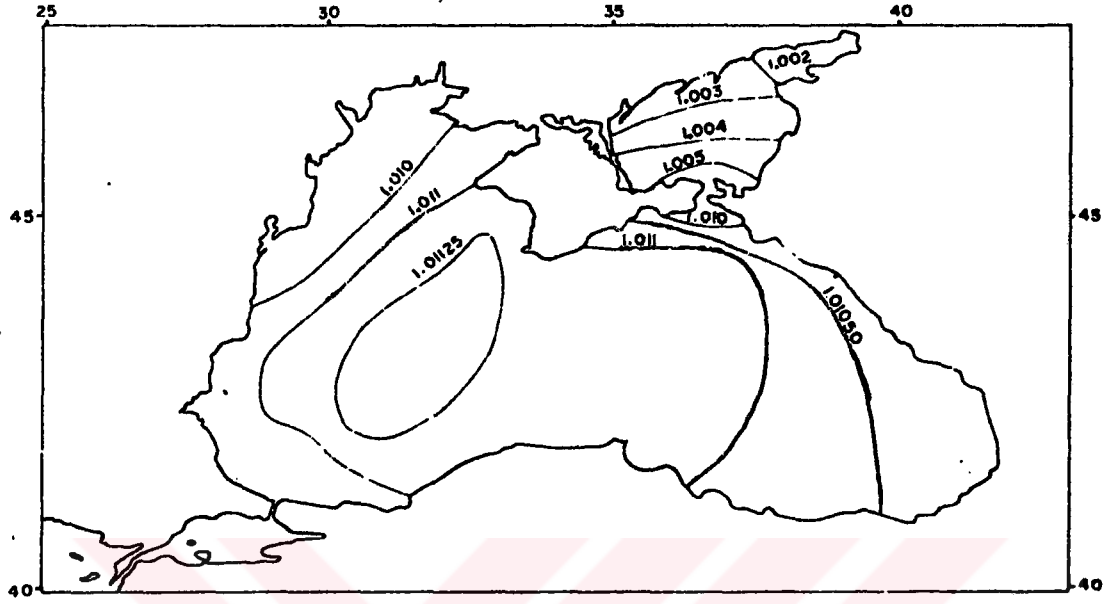


(a) Şubat

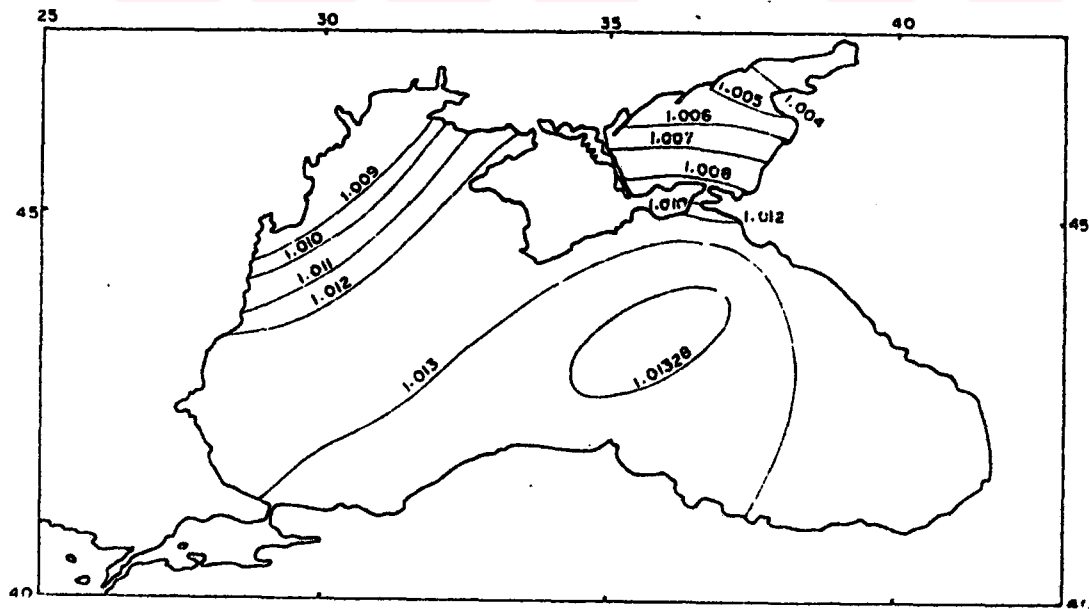


(b) Mayıs

Şekil 2.12. Karadeniz'in yüzey suyu yoğunluğu (Yüce, 1987)



(c) Ağustos



(d) Kasım

gözlenir. Bu su tabakasının soğuk damarında gözlenen en düşük sıcaklık 6-8 °C olup 50 - 75 metre derinlikte gözlenir. Tuzluluk ‰ 18.5 ile ‰ 19.5 arasında değişir.

Derin su ile soğuk ara tabaka suyu arasında karışım suyu gözlenir. Karışım suyu çözünmüş oksijen ve hidrojen sülfürün varlığı ile karakterize edilir. Karışım suyu damar tabakası sıcaklığı 8.6 - 8.8 °C'dir. Bu tabakanın tuzluluğu Doğu Karadeniz'de ‰ 21.10 - 21.50 arasında değişirken, Batı Karadeniz'de ‰ 21.60 - 21.90 arasında değişir.

Derin su Batı Karadeniz'de 500 - 1000 metre derinlikler arasında gözlenirken, Doğu Karadeniz'de gözlem derinliği 800 - 1400 metre arasında değişir. Derin su tabakasında sıcaklık 8.65 °C ile 8.95 °C arasında değişirken, tuzluluk yaklaşık ‰ 22.35'dir.

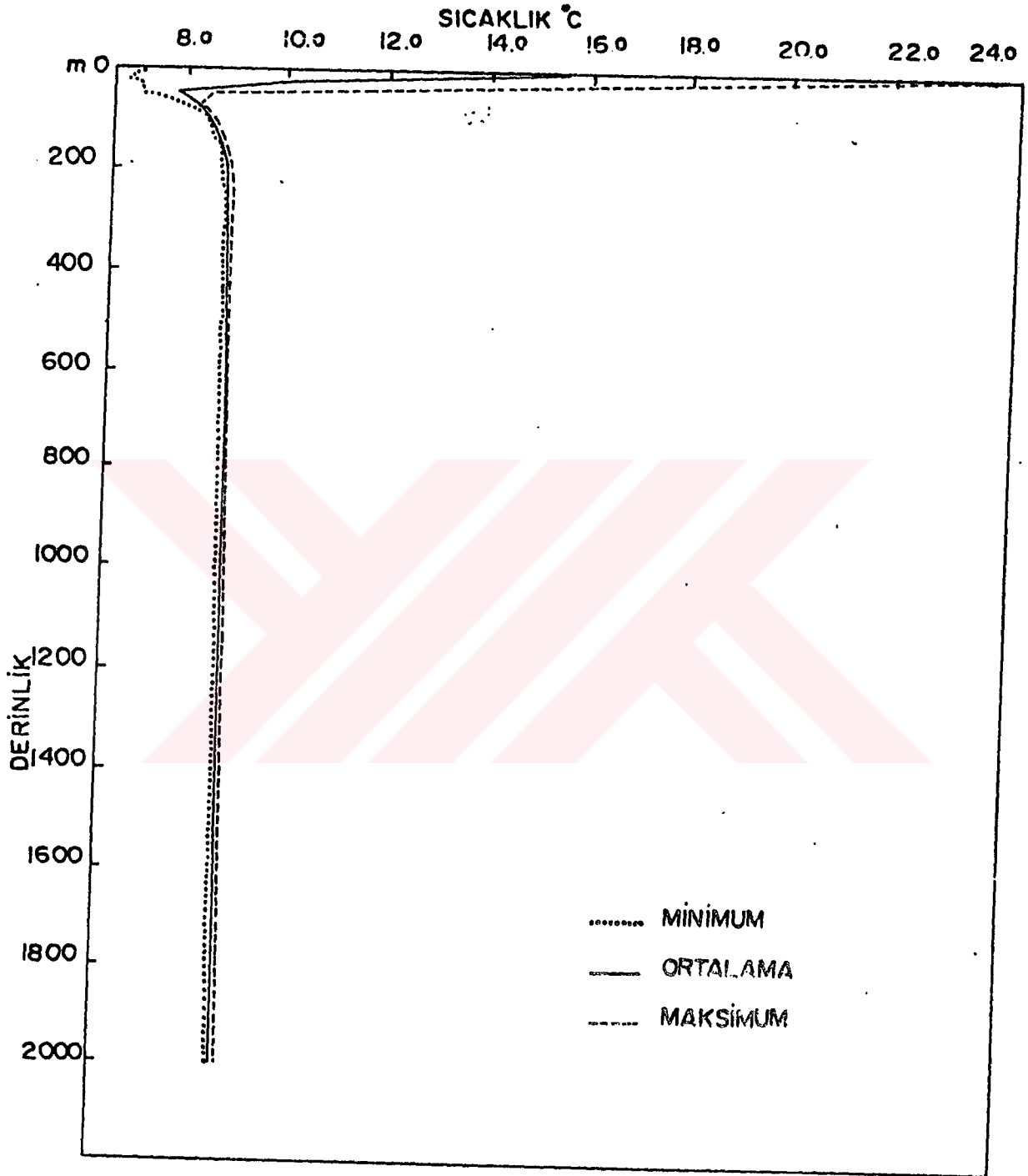
Dip suyu havzanın batısında 1000 metre, doğusunda ise 1400 metre derinlikten sonra gözlenir. Dip suyunu üst tabakalardaki su kütlelerinden ayıran başlıca fark çok küçük ve hatta sıfır değerini alan düşey sıcaklık, tuzluluk gradyentidir. Dipte sıcaklık yaklaşık 8.90 - 9.10 °C, tuzluluk ise ‰ 22.39 - 22.41 değerleri arasında değişir.

Karadeniz'de yıllık ortalama, minimum, maksimum sıcaklık - tuzluluk profilleri Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de verilmiştir.

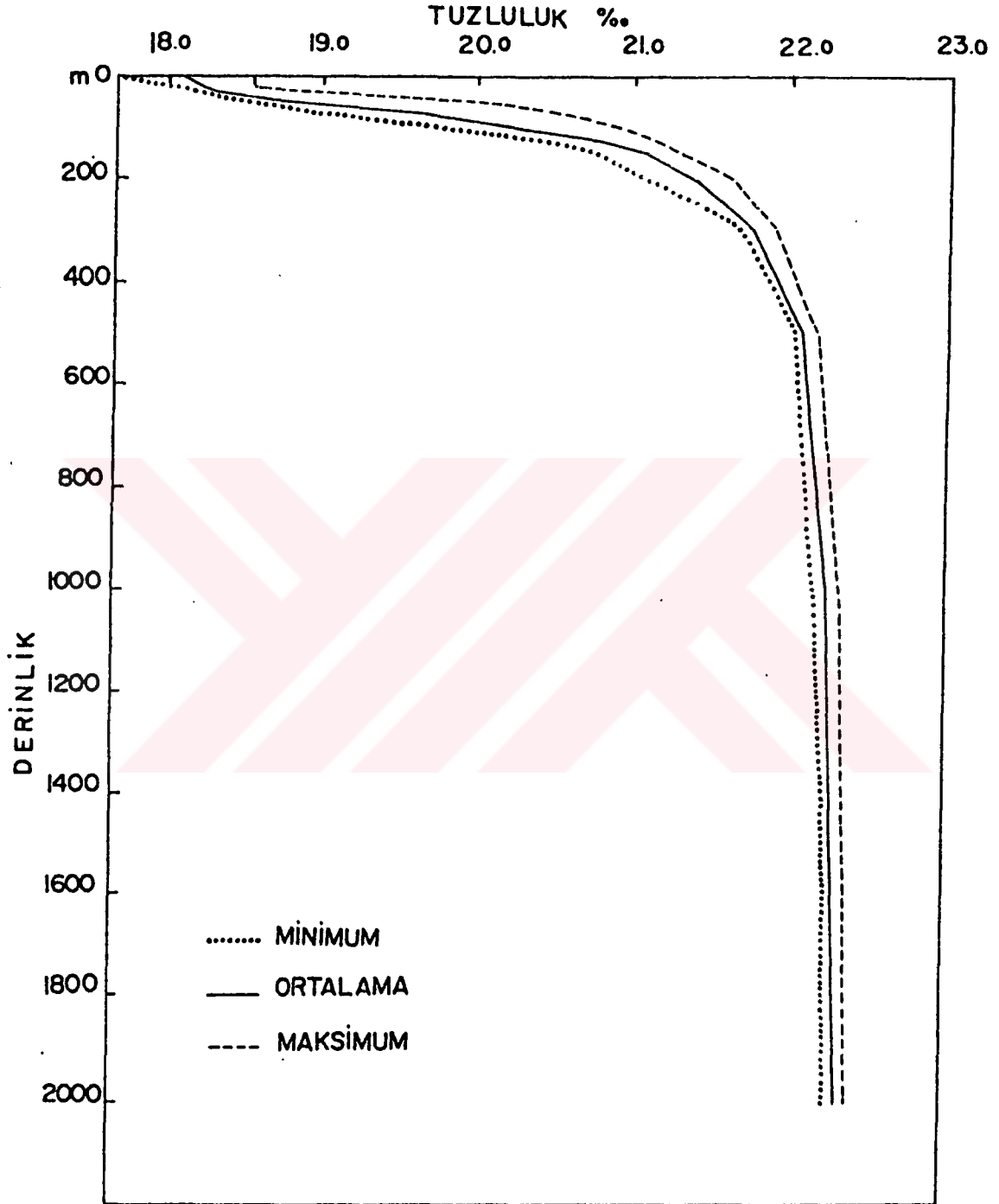
Karadeniz'de yüzey ortalama sıcaklığı 15.52 °C, tuzluluğu ‰ 18.9'dur. Sıcaklık 7.10 - 24.17 °C, tuzluluk ise ‰ 17.70 - 18.54 arasındadır. **Minimum sıcaklık yüzeyde değil yüzey altındadır. Bunun nedeni Karadeniz'de gözlenen soğuk ara tabakasıdır.** Soğuk ara tabaka suyunun varlığını yıllık ortalama, minimum, maksimum sıcaklık profilinden izlemek mümkündür. Ortalama ve maksimum sıcaklıkta görülen minimum sıcaklık değerleri soğuk ara tabaka suyu nedeniyledir. Maksimum sıcaklık aralığı 17.07 °C, tuzluluk aralığı ise ‰ .59, 200 metre derinlik altında maksimum sıcaklık aralığı 0.23 °C, tuzluluk aralığı ise ‰ 0.35'dir. Kış ve yaz mevsimlerindeki aylık ortalama sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin derinlikle değişimlerini gösteren profiller Şekil 2.15, 2.16, 2.17 ve 2.18'de gösterilmiştir. Kış aylarında en düşük yüzey suyu ortalama aylık tuzluluk değeri Aralık ayında gözlenmektedir. **Yaz aylarındaki aylık ortalama yüzey suyu tuzluluğu kış aylarına göre daha düşüktür. Düşük yüzey suyu tuzluluğu nehir girdileri nedeniyledir.** Karadeniz'de kış ve yaz aylarına ait ortalama sıcaklık - tuzluluk (T-S) diyagramları Şekil 2.19 ve Şekil 2.20'de gösterilmiştir.

T-S diyagramlarında yüzey suyu, soğuk ara tabaka suyu, karışım, derin ve dip su kütlelerini ayırd etmek olasıdır. **Kış mevsiminde, Aralık ayında, soğuk ara tabaka suyunun sıcaklığı yüksektir. Şubat ayında yüzey suyu sıcaklığı soğuk ara tabaka suyu sıcaklığından yüksektir. Yaz aylarında soğuk ara tabaka suyu ortalama aylık sıcaklığı aylara göre büyük değişme göstermez iken, Aralık ile Şubat ayları arasındaki fark yüksektir. Farkın yüksekliği soğuk ara tabaka suyunun kış mevsiminde, en şiddetli soğuk havaların gözleendiği aylarda oluşması ve dağılması ile ilişkilidir (Yüce,1987).**

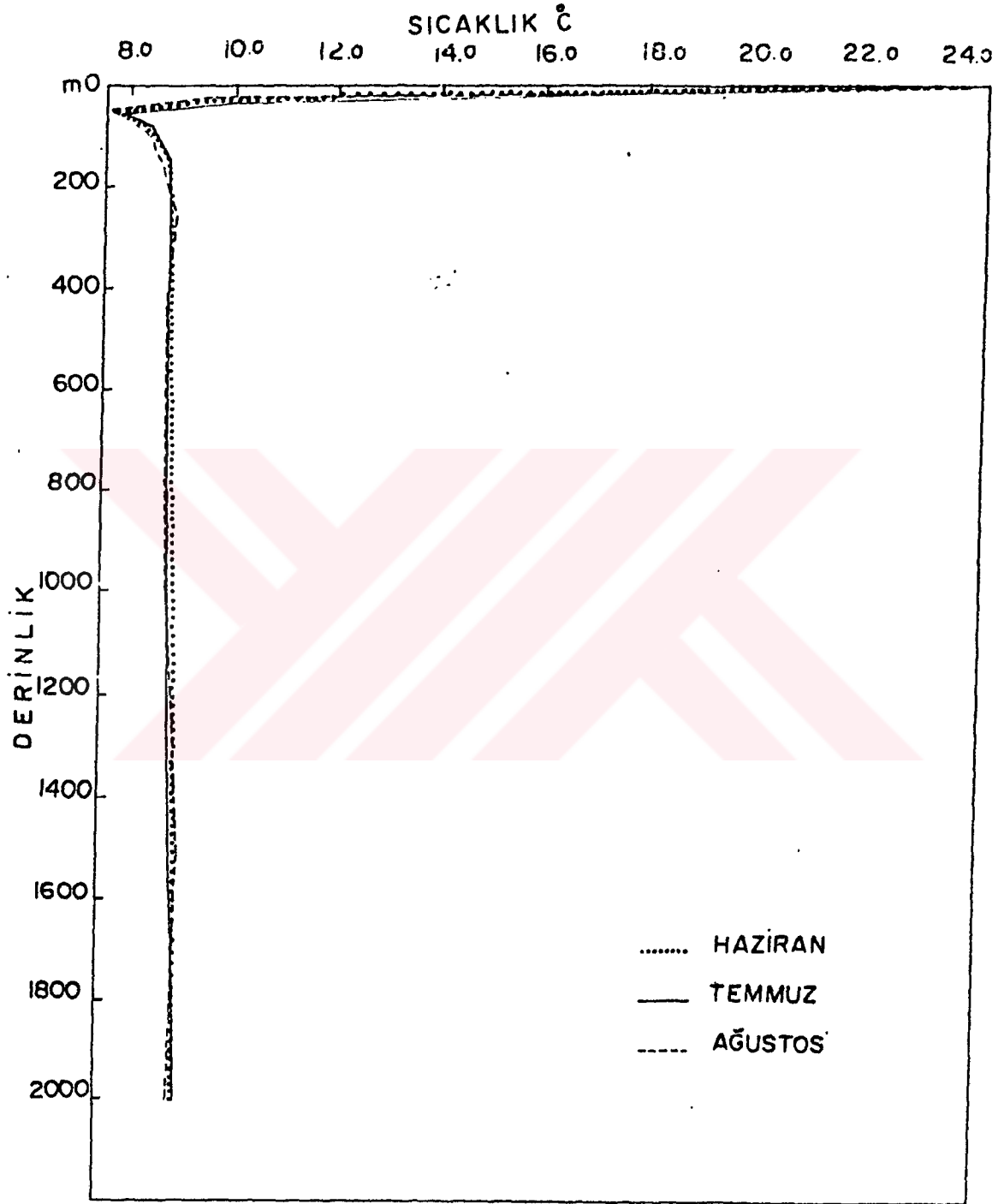
Sonuç olarak Batı Karadeniz Doğu Karadeniz'e göre büyük akarsuların etkisi altındadır. Bu nedenle bu bölgede yüzey tuzluluğu ve sıcaklığı Karadeniz geneline göre daha düşüktür. İstanbul Boğazı'nda yüzeyde Karadeniz'e göre daha az tuzlu ve soğuk suların gözlenmesi Boğaz'ın batı Karadeniz'deki oşinografik koşullardan etkilenmesi nedeniyledir. Karadeniz'de yüzey altında gözlenen minumum sıcaklıktaki soğuk ara suyu İstanbul Boğazı'nda yüksek sıcaklık değerleri ile sonbahar mevsimi hariç genellikle gözlenebilmektedir. **İstanbul Boğazı ve Karadeniz'de Şubat ayı ortalama sıcaklığın, Haziran ayı ise ortalama tuzluluğun en düşük olduğu aylardır.** Karadeniz'de Ağustos ayında ortalama sıcaklık yüksektir. Karadeniz'de en düşük aylık ortalama yüzey tuzluluğu Mart ayında gözlenmektedir. Bunun nedeni Mart ayında artan nehir girdileridir. Karadeniz'de yüzey altında ortalama sıcaklık, tuzluluk değerleri büyük değişim göstermemektedir. Yüzeyde İstanbul Boğazı'nda Karadeniz geneline daha düşük tuzluluk ve sıcaklık olmasına rağmen, yüzey altında Karadeniz'e göre daha tuzlu ve sıcaktır. Bunun nedeni ise, alt tabakada yer alan çok tuzlu ve sıcak Akdeniz suyu ile meydana gelen karışımdır.



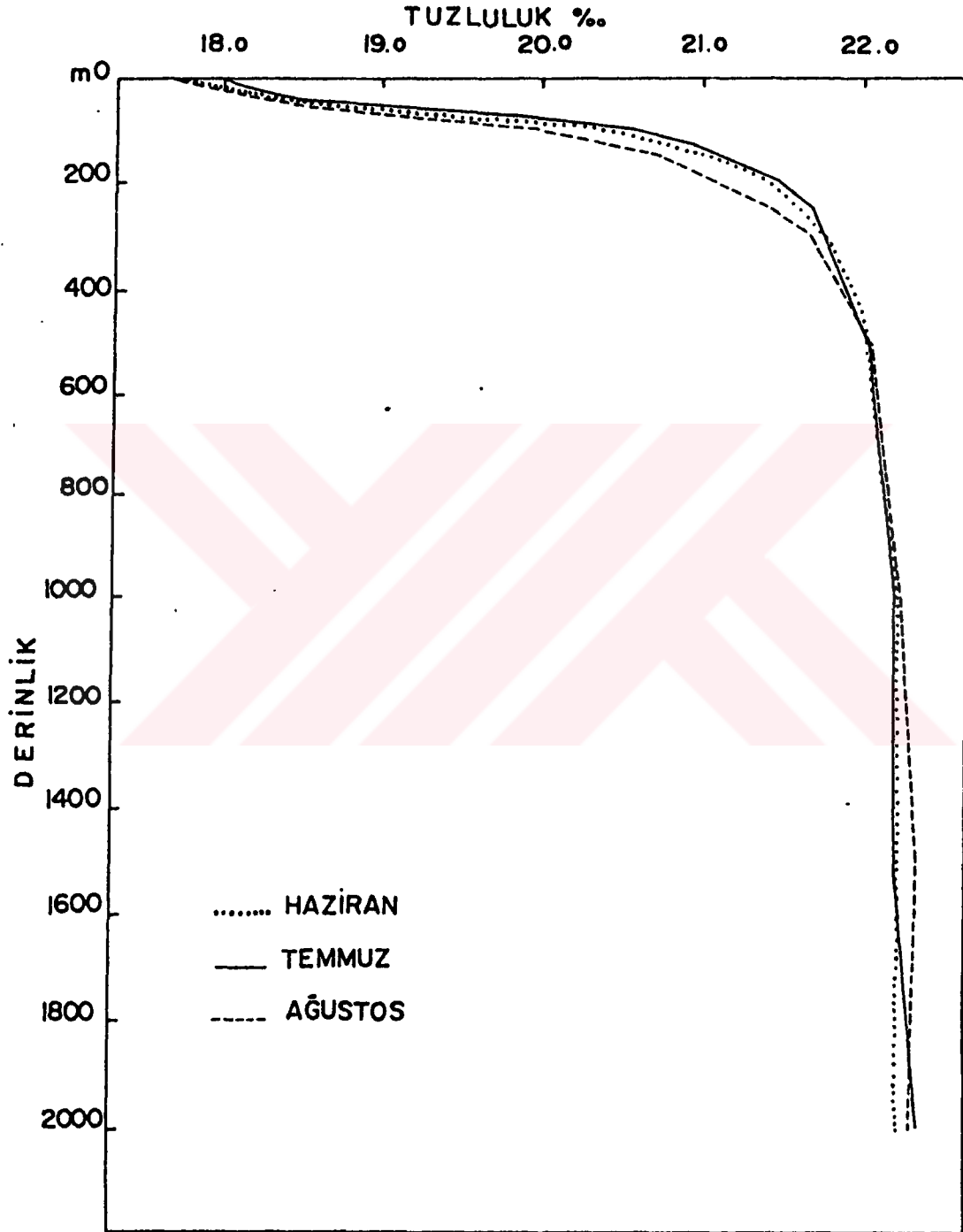
Şekil 2.13. Karadeniz'in yıllık ortalama, minimum, maksimum sıcaklık profilleri (Yüce, 1987)



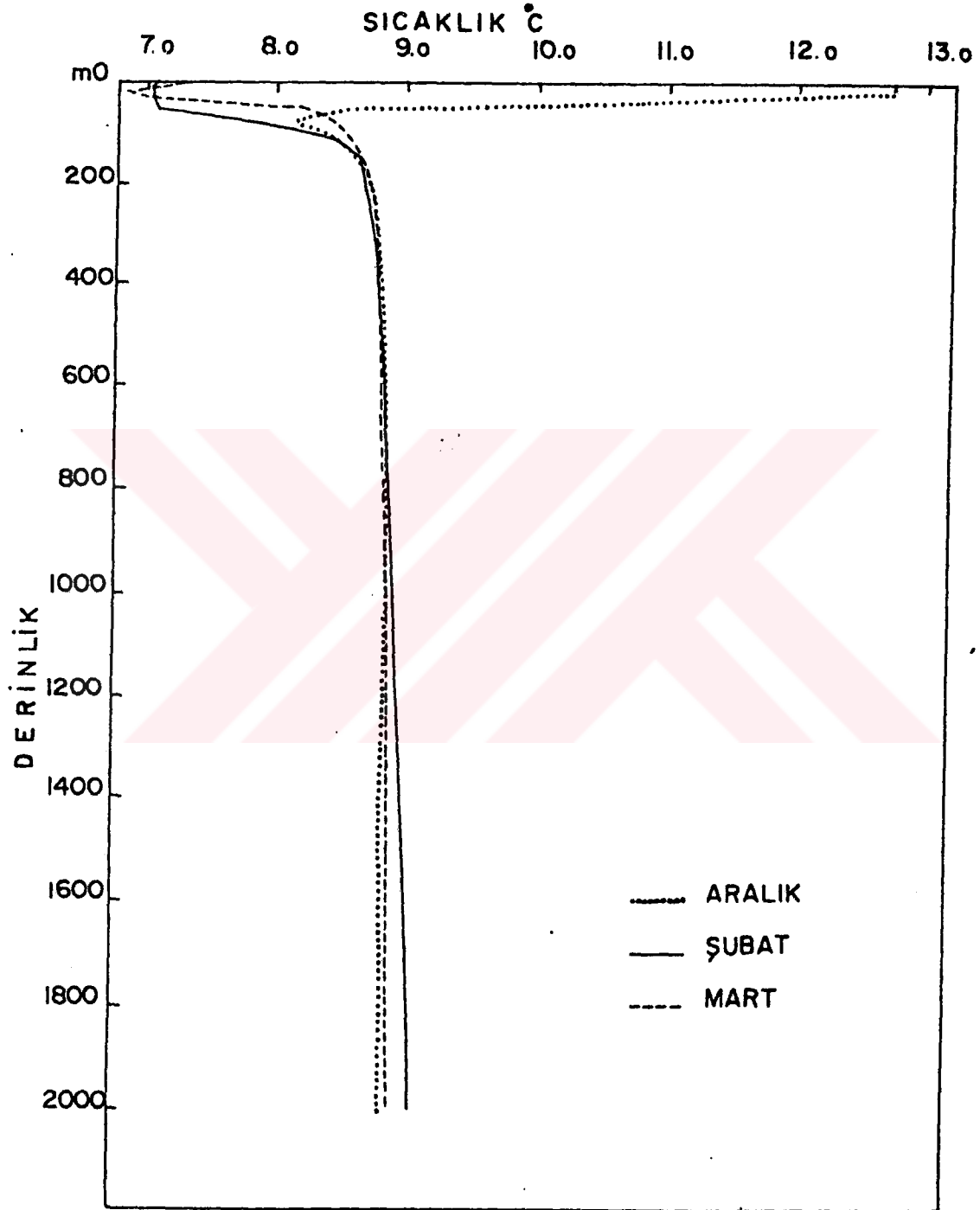
Şekil 2.14. Karadeniz'in yıllık ortalama, minimum, maksimum tuzluluk profilleri (Yüce,1987)



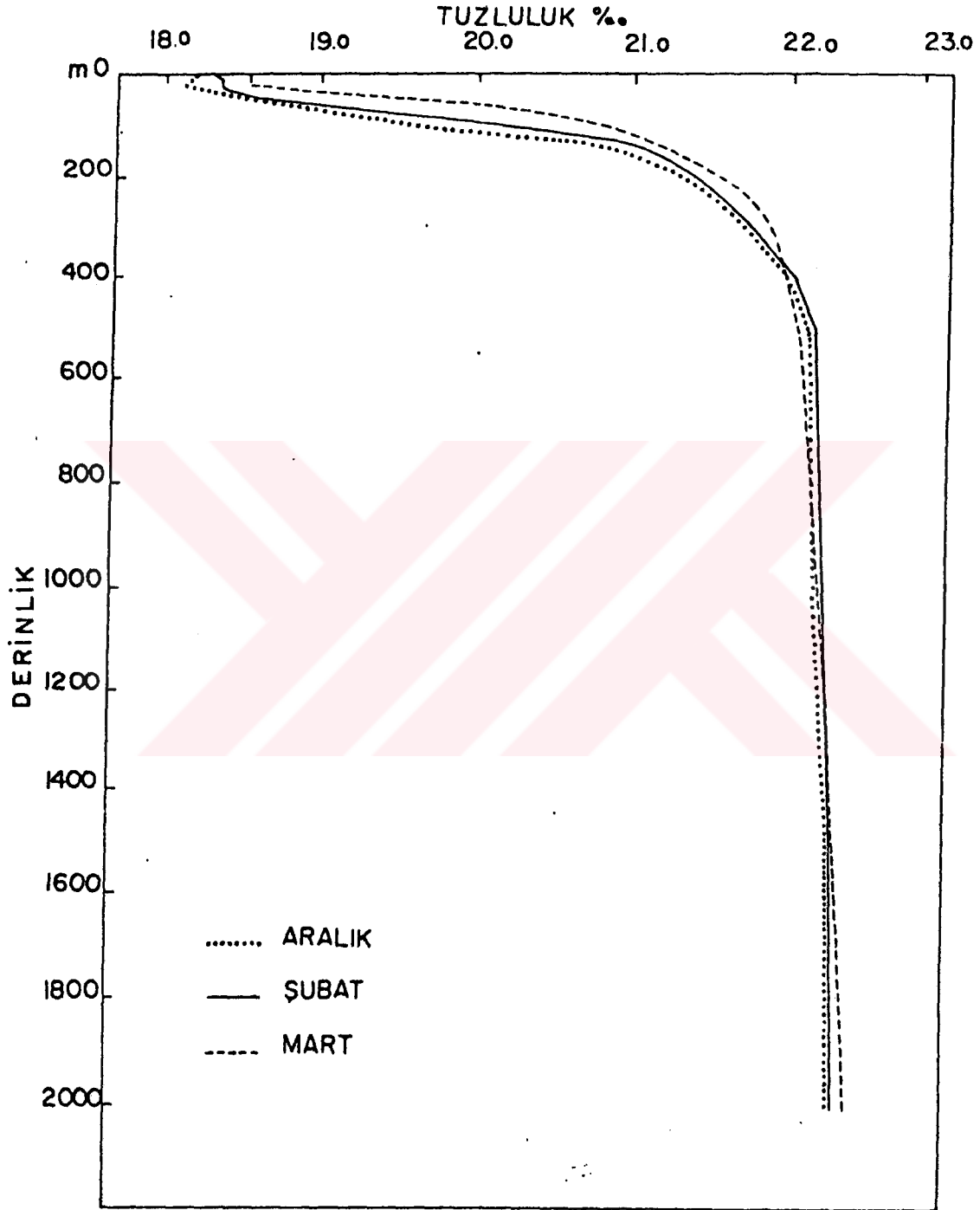
Şekil 2.15. Karadeniz yaz mevsimi aylık ortalama sıcaklık profilleri (Yüce, 1987)



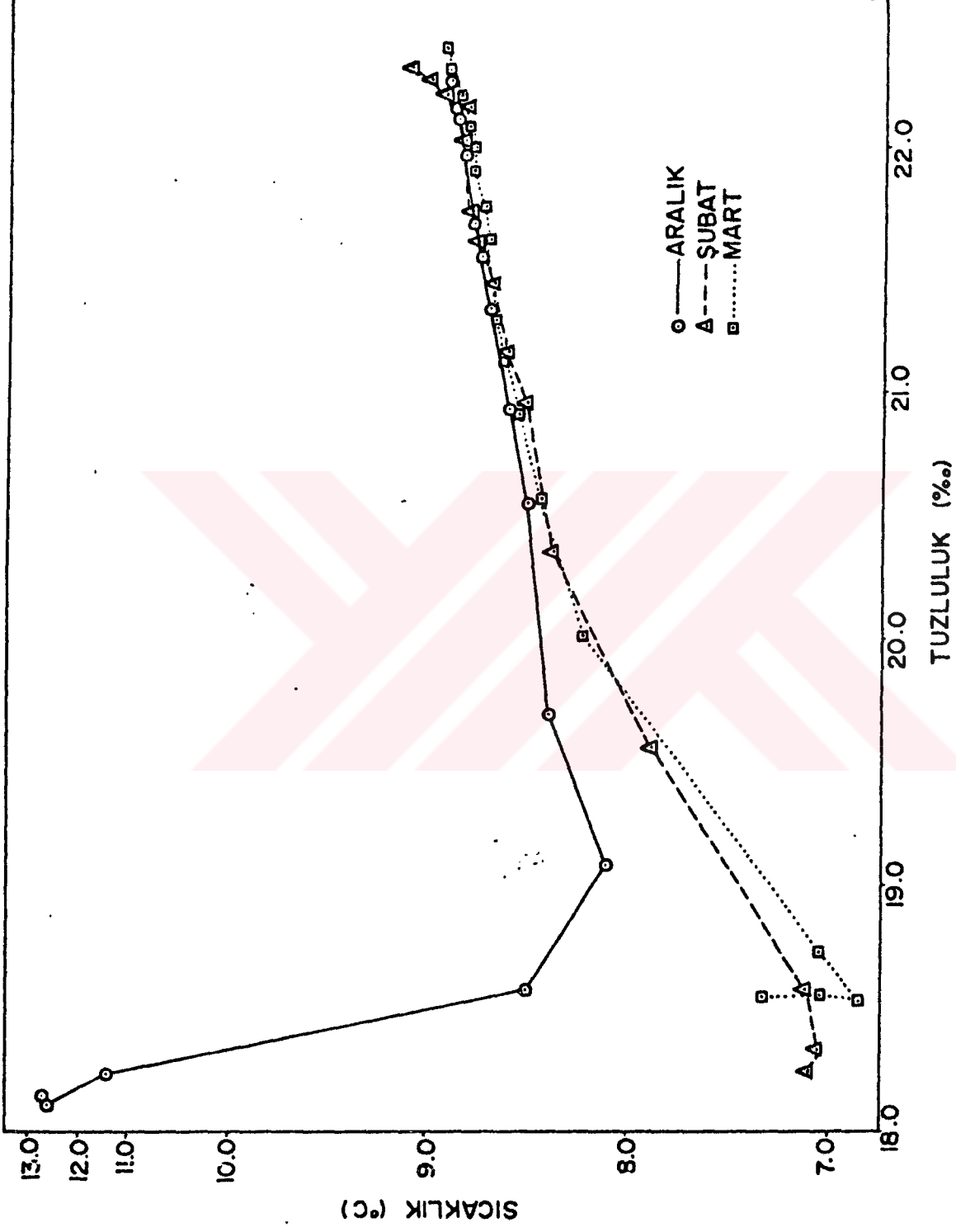
Şekil 2.16. Karadeniz yaz mevsimi aylık ortalama tuzluluk profilleri (Yüce, 1987)



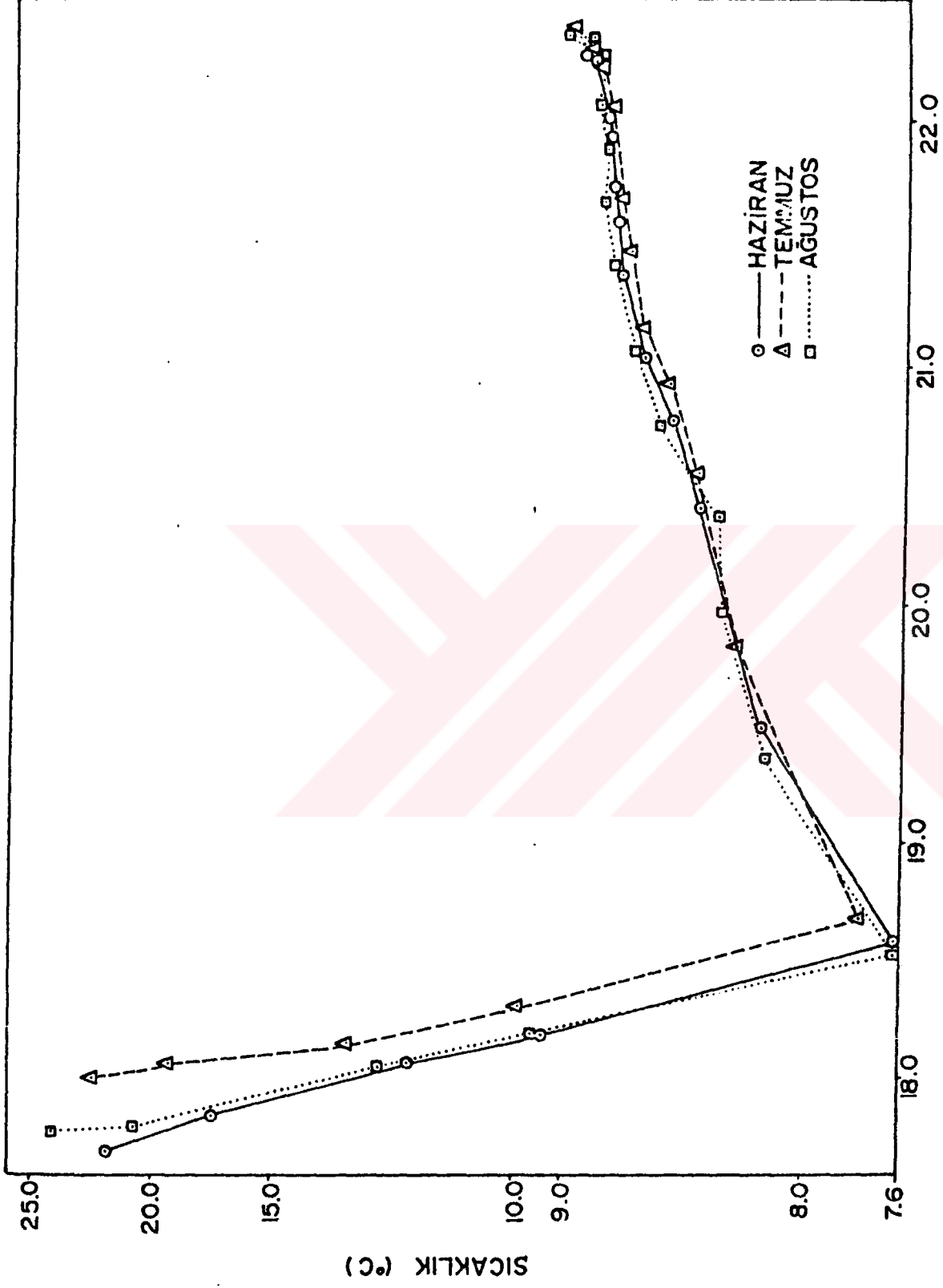
Şekil 2.17. Karadeniz kış mevsimi aylık ortalama sıcaklık profilleri (Yüce, 1987)



Şekil 2.18. Karadeniz kış mevsimi aylık ortalama tuzluluk profilleri (Yüce, 1987)



Şekil 2.19. Karadeniz kış mevsimi aylık ortalama T-S diyagramı (Yüce, 1987)



Şekil 2.20. Karadeniz yaz mevsimi aylık ortalama I-S diyagramı (Yüce, 1987)

BÖLÜM 3

3. MARMARA ÇANAĞININ FİZİKSEL VE OŞİNOGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Asya ile Avrupa kıtalarının birbirlerine en fazla yaklaştığı bir bölgede, yani Türk Boğazlar Sistemi içinde yer alan Marmara Denizi, 11.352 km²'lik yüzölçümü ile tipik küçük bir içdenizdir. Kuzeyde kıtalararası bir deniz olan Karadeniz'e İstanbul Boğazı'yla, güneyde ise Ege Denizi'ne Çanakkale Boğazı'yla bağlantılıdır. Bütün su transferleri bu Boğazlar Sistemi sayesinde gerçekleşir. İzmit Körfezi, Gemlik Körfezi, Bandırma Körfezi, Erdek Körfezi ve Kapıdağı Yarımadası gibi girinti ve çıkıntılarla kıta içine oldukça giren Marmara Denizi, hidrografik bakımdan da tam bir içdeniz özelliği gösterir.

3.1. Marmara Çanağındaki Morfolojik Özellikler

Marmara Denizi çevresi, genellikle orta yükseklikte dağ ve yaylalarla çevrilmiştir. Kuzetbatıdaki relief, az yüksek dağ, tepe ve yaylalar olup, vadilerce derin bir şekilde parçalanmıştır. Yanız Tekirdağ'ın güneybatısında ki Ganos Dağı (en yüksek yeri 945 metre) sarp kenarı ve yüksek reliefi ile bu düzeni bozmaktadır. Marmara'nın üç çukurundan birisi bu dağın yanı başında bulunmaktadır (Şekil 3.1)

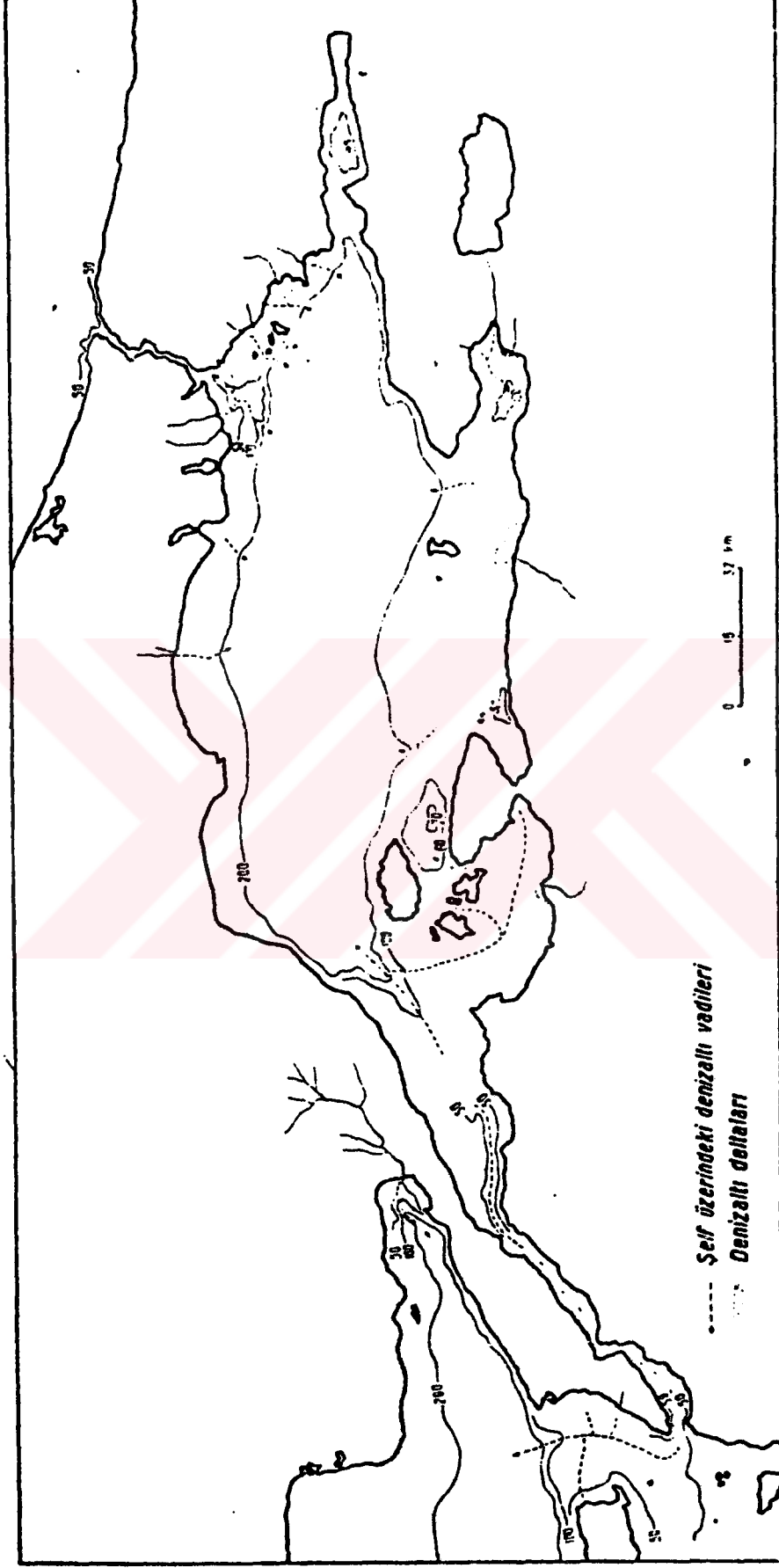
Marmara'nın güneyi ise yapı ve relief bakımından kuzeyden farklıdır. İkinci ve Üçüncü Zaman'da deniz ve göllerin istilasına maruz kalan ve oluşumlarından bugüne kadar uzun ve karışık bir olgunlaşma devresi geçirmiş bulunan güneydoğu ve güney çerçevesinde, Karadeniz kıyılarından Uludağ kütesine kadar az çok derin bir takım çukur sahalarla çeşitli yükseklikte yayla ve dağların birbirlerini takip ettiği görülür. Bu çukur yerlerin bir kısmı deniz sularının altında kalmış (İzmit ve Gemlik körfezleri gibi) bir kısmını da göller kaplamıştır (İznik, Uluba ve Manyas gölleri gibi); bazıları da dolmuş alüvyal ovaları (Yenişehir, İnegöl, M. Kemalpaşa-Karacabey ovaları gibi) meydana getirmişlerdir.



Marmara Denizi'nin oluşum dönemi ikiye ayrılır. Biri Marmara Havzasının Karadeniz'e bağlı olduğu dönem, diğeri ise Akdeniz sularının havzaya girmesinden sonraki dönemdir. Zaman zaman Akdeniz ve Karadeniz'le bağlantıları kesilen Marmara Denizi bir göl özelliğini kazanmış, ancak son buzul döneminin sona ermesi ile başlayan genel deniz yükselmesi Marmara'yı tekrar Akdeniz ve Karadeniz'le birleştirmiş ve bugünkü durumunu almıştır. Bugün Marmara Denizi tabanında daha tuzlu ve ağır olan Akdeniz suları ve yüzeyde ise daha az tuzlu olan Karadeniz suları bulunmaktadır (Aral, 1994).

Marmara Denizi'nde üç adet çukur tespit edilmiştir. Bunlardan Marmara Ereğlisi - Silivri sahilleri açıklarındakisi orta çukurluk adını alır ve 1355 metre derinliğiyle çanağında en derin noktasını oluşturur. Diğer çukurlardan batı çukuru (Tekirdağ açıklarında) 1112 metre ve doğu çukurunda (İzmit Körfezi açıklarında) 1238 metre derinliktedir. Hemen hemen bütün jeologlar Marmara'nın doğu - batı eksenini doğrultusunda uzanan çukurların bir takım faylar tarafından kat edildiğini kabul ederler. Buna delil olarakta bu denizin kenarındaki şehirlerde zaman zaman kaydedilen yer sarsıntıları gösterilmektedir.

Marmara Denizi'nin denizaltı reliefini gösteren bir haritaya göre; bir çok denizlerde olduğu gibi burada da şelf sahası, derin yerlere nazaran, genişçe bir saha kaplamaktadır. Şelf, bilhassa, güney ve güneybatıda gelişmiştir. Dünyadaki başka denizlerde olduğu gibi burada da, şelf sahası üzerinde, yanbaşındaki kıtada bulunan aşınma izleri (denizaltı vadileri) görülmektedir. Kapıdağ yarımadasının etrafında böyle bir denizaltı vadi şebekesi bulunduğu gibi, kuzeydoğuda Tuzla - Maltepe - Büyükada arasındaki şelf sahasında da buna benzer şekiller vardır. Bunların tipik olanları Marmara'nın üç derin çukurunun etrafında göze çarpmaktadır. Marmara Adası'yla Tekirdağ arasında bulunan çukurun güneybatısında izobatların gidişi dikkat çekicidir. Eğrilerin bu istikametteki girintileri İncir Burnu açıklığına, hatta Şarköy hizasına kadar takip edilebilmektedir. Öte yandan bu ana oluğa iki taraftan, bilhassa sağdan, Marmara Adaları arasından gelip katılan kollar vardır. Bütün bunlar, bu kısımda, önemli bir denizaltı şebekesinin gelişmiş olduğunu göstermektedir. Bu kadar önemli diğer bir denizaltı vadi şebekesi de Boğaz'ın Marmara girişi açıklığında bulunur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Marmara şelfi üzerinde denizaltı vadiler şebekesi, denizaltı deltaları (Ardel, 1957)

3.2. Marmara Denizi Su Yüzeyi ve Kıyılarındaki Atmosferik Özellikler

Marmara Denizi'nde, İstanbul ve civarına benzer bir iklim görülür. Ancak rüzgar yönleri değişebilir. Marmara Denizi'ne hâkim olan lodos, kible ve kesişleme rüzgarları kuzey kıyılarını etkilerken, poyraz, karayel ve yıldız gibi rüzgarlar da güney kıyılarını etkileri altına alırlar. Hatta bu rüzgarların sahillerde 1 metreye kadar düşey yükselmelere sebep olduğu bilinmektedir (Aral, 1994).

Bölgede yıllık yağış miktarı 500 ilâ 1000 mm arasında değişmektedir. Yağış miktarı, genelde, sahil bölgelerinde daha yüksek, karasal kısımlarda daha düşük olarak gerçekleşmektedir. Bölgedeki ortalama yağış miktarı ise 700 mm civarındadır. Tablo 3.1'de bölgedeki bazı noktalarda belirlenmiş ortalama yıllık yağış miktarları verilmiştir.

Tablo 3.1. Marmara Bölgesi'ndeki ortalama yağış dağılımı (Aral, 1994).

Ölçüm Noktası	Yağış, mm.
Balıkesir	589
Bursa	708
Bandırma	680
Emet	485
Simav	800
Biga	743
İstanbul - Büyükçekmece	573
İstanbul - Terkos	866
İstanbul - Alibeyköy	1108
TOPLAM	6552

3.3. Marmara Denizi Su Kütlesindeki Hidrodinamik Özellikler

3.3.1. Marmara Denizi'nin su seviyesi değişimleri

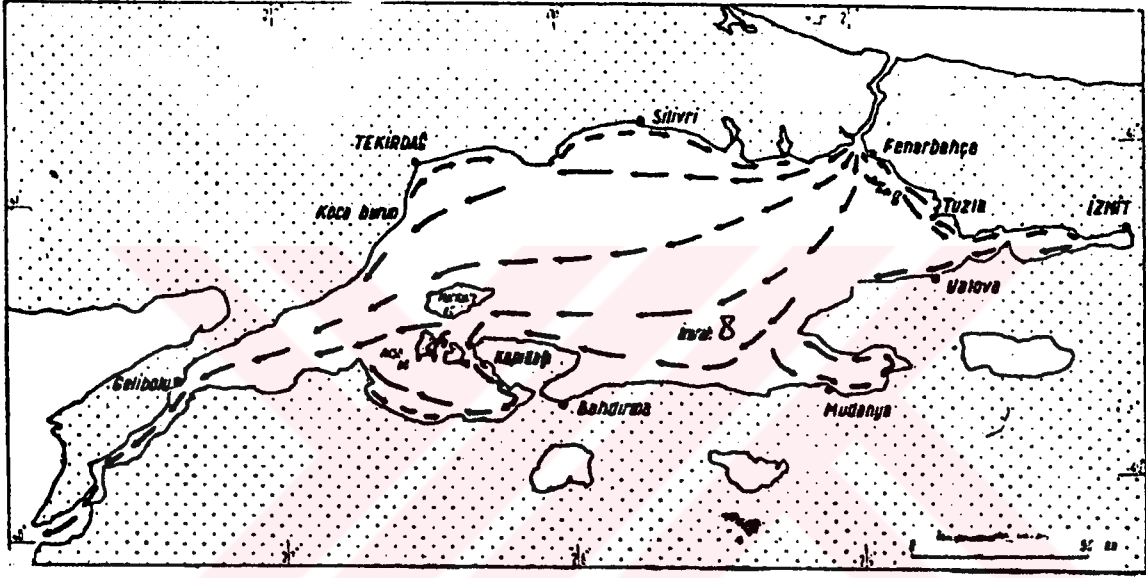
Marmara Denizi'nde med - cezirin etkisi oldukça azdır. Buna karşılık, Marmara Denizi'nde hakim olan lodos, kible ve kesişleme rüzgarlarının kuzey kıyılarında, poyraz, karayel ve yıldız gibi rüzgarların ise güney sahillerinde 1 metreye erişen düşey yükselmelere sebep olduğu bilinmektedir (Aral, 1994).

Marmara havzası toplam 24.100 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir. Havza bu haliyle Türkiye yüzölçümünün %3.09'unu oluşturmaktadır. Havzadan yılda ortalama 6.619 milyar m³ su derelerle Marmara Denizi'ne dökülmektedir. Çok sayıda küçük dereler bulunmaktadır. En önde gelen dereler; Simav, Biga ve Gönen çaylarıdır.

3.3.2. Marmara Denizi çanağındaki akıntılar

Ege Denizi ile Karadeniz'i birleştiren Türk Boğazlar Sisteminin arasında yer alan Marmara Denizi, bu iki deniz arasındaki mevcut seviye ve yoğunluk farklarından dolayı çok kuvvetli su akıntılarına maruz kalmaktadır. Gerçekten de, Karadeniz'den Ege denizine doğru Boğazlar'dan ve Marmara'dan geçmek üzere bir yüzey akıntısı ve ters yönde de bir dip akıntısı mevcuttur.

Marmara Denizi'nde akıntıların başladığı nokta İstanbul Boğazı'dır. Karadeniz suları yüzey tabakadan akarak Marmara Denizi'ne ve oradan da Çanakkale Boğazı'ndan Ege Denizi'ne gitmektedir. Akdeniz suları ise alt tabakadan Çanakkale Boğazı yoluyla Marmara Denizi'ne girmektedir. İstanbul Boğazı'ndan çıkan akıntının bir kolu doğuya dönerek İzmit Körfezi'ne doğru yönelmekte ve körfezi dolaştıktan sonra geri dönerek Tuzla sahilleri ve Yalova sahillerine ulaşmaktadır (Şekil 3.3). Bu akıntıların hızı saatte 750 metre ile 2500 metre (0.2 - 0.7 m/sn) arasında değişmektedir. Ancak, İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nda ise bu hız değerleri birkaç misli daha fazladır (Aral, 1997).



Şekil 3.3. Marmara Denizi'nde yüzey akıntıları, Ahmet Rasim'e göre (Marmara Denizi Klavuzu) (Ardel, 1957)

İstanbul Boğazı yoluyla Marmara Denizi'ne giren akıntı Ahırkapı - Fenerbahçe arasında üç kola ayrılır. Birinci kol olan doğu kolu Kızıladaalar arasından İzmit Körfezi ağzına kadar etkili olur. Bu akıntı; Tuzla önlerinde dönüp bir anafor yapar ve kıyıyı takiben Üsküdar'a doğru ilerler. İzmit Körfezi ağzına ulaşan akıntının ufak bir kolu körfeze girip dolaşarak Yalova önlerinde söner. Buna benzer tâli bir akıntı Gemlik körfezinde mevcuttur. Mudanya'nın kuzeybatısından gelen bu kol ters bir akıntı halinde körfezin kıyılarını dolaşır ve Armutlu önünden geçerek Bozburun açığında ana kola karışır. İmralı civarından geçen ana kol

Bandırma körfezinin açığından ve Kapıdağı yarımadasının kuzey kıyısından geçerek Marmara adalarına ulaşır ve burada Ahırkapı - Fenerbahçe arasından gelen merkezi kol ile birleşir. Bu akıntı kolunun bir kısmı Kapıdağı yarımadasının batı kenarını takip ederek ve Paşalimanı, Avşa adalarının arasındaki dar boğazlardan geçerek Erdek körfezine girer. Yer yer ters akıntılar meydana getiren bu akıntı kıyıyı dolaşır Karabiga önlerine gelir ve Karaburun'un ilersinde Ahırkapı açığından gelen merkezi ve batı kollarına karışır. Yüzey akıntının esas kısmı Hora burnuna doğru yönelir. Bu ana kol, kıyının şeklinden dolayı, takriben Kocaburun'la Küçükçekmece arasındaki kıyıda zayıf bir ters akıntı meydana getirir.

Marmara'nın doğu ve orta kısmından batıya doğru muhtelif kollardan gelen yüzey akıntıları Karaburun'la Hora burnu arasında Marmara'nın daralmağa başladığı sahada birleşirler.

Boğaz oluşunda kanalize edilen akıntı, hızını Boğaz'ın Marmara'ya açıldığı yerde, sahanın ani genişlemesi dolayısıyla, birdenbire kaybeder. Akıntının hızı kuzeyden esen rüzgarlarla, bilhassa poyraz ile artmakta, batı ve güneybatı (lodos) rüzgarlarıyla azalmaktadır. Bunun dışında, Karadeniz'de seviyenin yükseldiği zamanlarda akıntı hızını arttırır. Her iki durum (Karadeniz'de seviyenin yükselmesi, kuzey ve kuzeydoğu rüzgarlarının esmesi) bir araya gelirse, hızda o nispette artar. Bu akıntıların süratleri saatte yaklaşık 750 metre ile 2500 metre arasında değişir (Ardel, 1957).

3.3.3. Marmara Denizi'nin su kütlesinde sıcaklık-tuzluluk değişim özellikleri ve tabakalaşma karakteri

Okyanusla ilişkisi az kıtalararası denizlerde görülen tabakalaşma hadisesi Marmara Denizi'nde de görülmektedir. Krümmel'e göre, 18 -20 metrede görülen şiddetli sıcaklık sıçrayış derinliği, az tuzlu Karadeniz sularından oluşan üst akıntı ile aksi istikamette Karadeniz'e giden ve ‰ 35-37 tuzu ihtiva eden alt akıntının hududunu da vermektedir.

Marmara Denizi'nin yüzey suları genellikle az tuzludur. 10 - 15 metre derinliğe kadar tuzluluk ‰ 22 civarında sabit gibidir. Ondan sonra süratle artarak 30 metrede ‰ 37.5'u bulur. Bu derinliğin altında tuzluluk 150 metreye kadar ‰ 38.5'a çıkmakta ve büyük

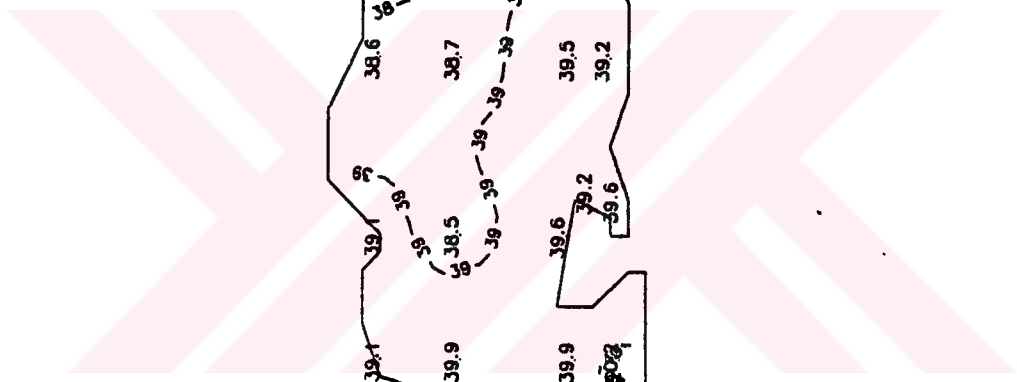
derinliklere kadar aşağı yukarı bu miktarı korumaktadır. Dolayısıyla bu derinlikten dibe kadar aynı tuzluluğu sahip (homohaline) bir tabaka mevcuttur (Aral, 1994).

1994 yılı Ağustos ayı ölçümlerine göre yüzey suyu sıcaklığı 21 - 27 °C arasında ve derinlere inildikçe azalmaktadır. Marmara Denizi'nde ölçüm yapılan bütün istasyonlarda 15 - 20 metre arasındaki derinliklerde su kalitesinde sıcaklık tabakalaşması meydana gelmiştir. Yüzey suyu sıcaklığı 24 - 26 °C'den 14 - 16 °C'ye inmiştir. Termoklin tabakası 15 - 20 metre arasında teşekkül etmiştir. Marmara Denizi'ne ait 0.5 - 20 metre derinliklerdeki eş sıcaklık eğrileri Şekil 3.4 ve 3.5'de verilmiştir.

İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışında 42 metre derinliğe kadar Karadeniz suyu ve daha derinlerde de (50 metre gibi) Akdeniz suyu tuzluluk değerleri ölçülmüştür. Sarayburnu açıklarındaki istasyonda ise 15 metreye kadar Karadeniz suyu, 15 metreden sonraysa yüksek konsantrasyonda Akdeniz suyuna ait tuzluluk değerleri ölçülmüştür. Marmara Denizi'nin 25 - 30 metre üst tabakası düşük tuzluluk değerinde Marmara suyu, 30 metreden derinlerde ‰ 40 civarında tuzluluğa sahip Akdeniz suyu bulunmaktadır. Çanakkale açıklarında, üstte 15 metreye kadar düşük tuzluluk, 15 metreden sonra Akdeniz suyu tuzluluğuna rastlanılmıştır. Gelibolu açıklarında ise 30 metre üst tabaka Marmara suyu, 30 metreden sonraki derinliklerde ‰ 40 olan yüksek tuzluluk değerleri ölçülmüştür. Şekil 3.6, 3.7, ve 3.8'de 0.5 metre, 20 metre ve 30 metre derinliklere ait eş tuzluluk eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.7. Marmara Denizi'nde tuzluluk 20 m, 9-12 Ağustos 1994 (Aral, 1994)



Şekil 3.8. Marmara Denizi'nde tuzluluk 30 m, 9-12 Ağustos 1994 (Aral, 1994)

BÖLÜM 4

4. İSTANBUL BOĞAZI'NIN FİZİKSEL VE OŞİNOGRAFİK ÖZELLİKLERİ

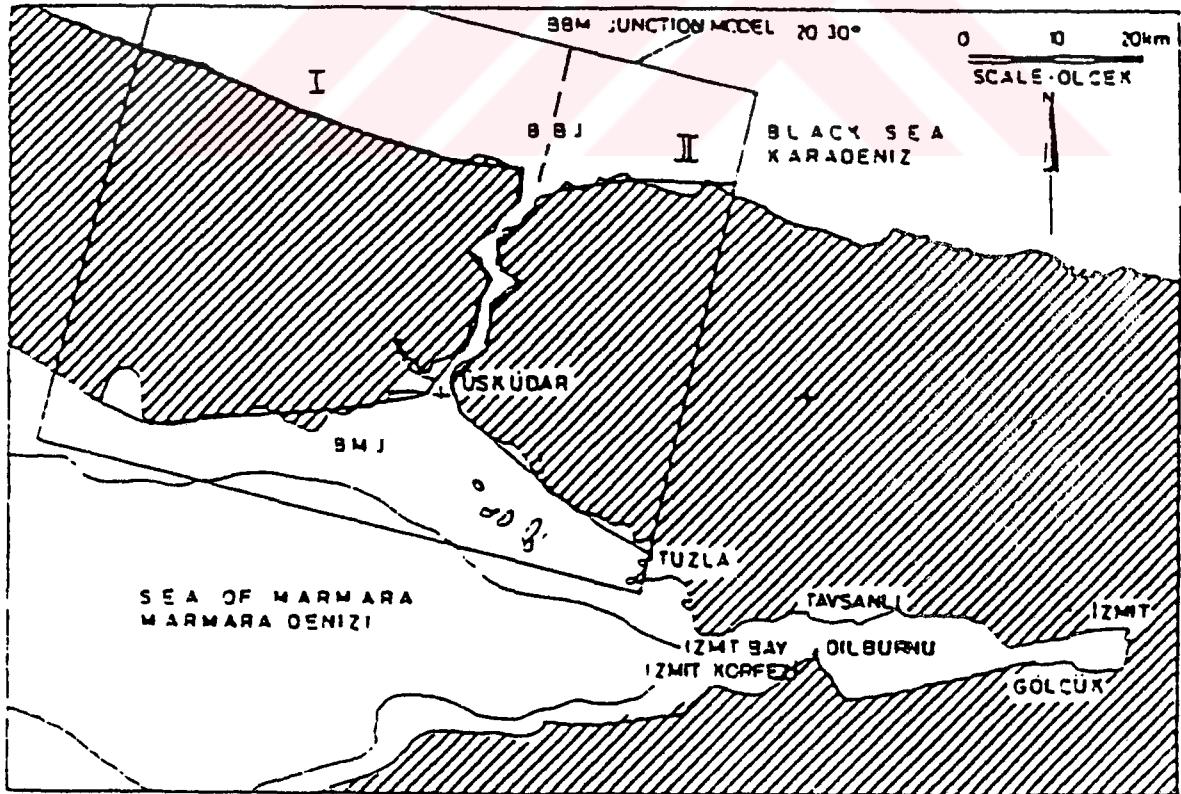
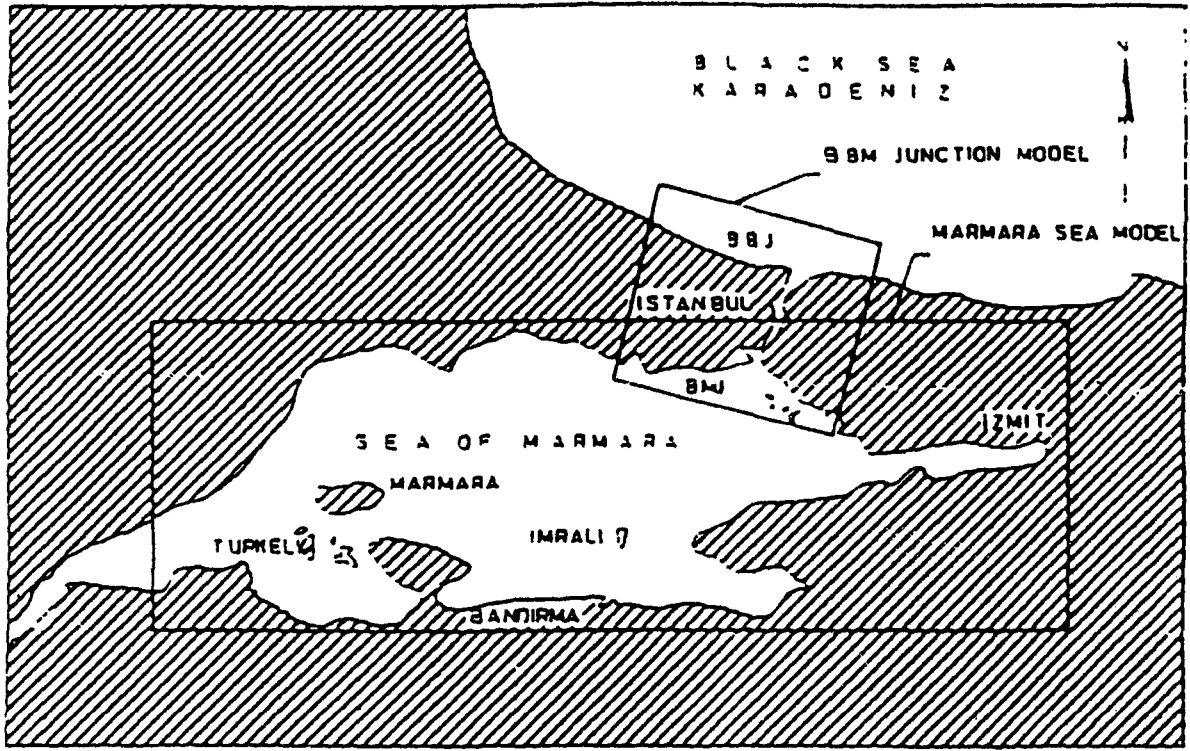
4.1. İstanbul Boğazı ve Çevresinde Atmosferik Özellikler

İstanbul Boğazı akıntılarına etkisi açısından İstanbul ve çevresinin meteorolojik özellikleri çok detaylı incelenmektedir. Karadeniz kıyısındaki meteoroloji istasyonlarının konumu ve bölgenin fiziki yapısı açısından, İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışının batı kısmı (BBJ Kesimi) ve Trakya sahillerinin kuzeyini kapsayan bölge I. Kısım, Boğaz çıkışının doğu yakasındaki saha ise II. Kısım olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.1) Meteorolojik veriler için kaynak olarak I. Kısım için Kumköy (Kilyos) ve II. Kısım içinde Şile Meteoroloji İstasyon verileri kullanılmıştır. Meteorolojik alt bölgelerden I. Kısım'da (Kumköy civarı) rüzgar, hava sıcaklığı, atmosferik basınç ve yağış için sırasıyla 19, 30, 20 ve 30 yıllık ortalamalar, II. Kısım'da (Şile civarı) ise aynı parametreler için sırasıyla 14, 42, 20 ve 42 yıllık ortalamalar kullanılmıştır. Bölgede bütün yıl boyunca etkili rüzgarların (K, KD, KB, GB), aylık ortalamalarının dağılımları incelenmiştir.

İstanbul'da etkin hava sistemlerinin gezici oluşlarının yanı sıra, karakterlerinin de çok sık değişmesi belirgin bir iklim tipinin belirlenmesini güçleştirmektedir. Bölge Karadeniz ile Akdeniz iklimleri arasında bir geçiş köprüsü özelliğini taşır. Genellikle kışlar için ılık ve yağışlı, yazlar içinse sıcak ve kuraktır denilebilir. Ayrıca Boğaz'ın kuzeyindeki nispeten daha sert iklim özellikleri, güneye gidildikçe yumuşamaktadır.

BMJ şeklinde de tarif edilen Boğaz'ın güney kesimlerinde, Ekim - Mart dönemlerinde alçak basınç sistemlerinin hakimiyeti sonucunda lodos rüzgarları oluşur. Bu rüzgarların yıllık ortalama içindeki yüzdesi %20'dir. Kış aylarında lodos rüzgarları aynı sıklıkta etkisi olan ve yıllık ortalama içindeki yüzdesi %60 olan kuzeyli poyraz rüzgarları da görülmektedir (İSKİ, 1997).

BMJ kesimi en yüksek yağışları Ekim - Mart döneminde almaktadır. Bu dönemin tüm Marmara Denizi su bütçesine yaklaşık $7 \text{ km}^3/\text{yıl}$ kadar etkisi olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık özellikle yaz aylarında görülen buharlaşmanın Marmara Denizi su bütçesine etkisi yaklaşık $11 \text{ km}^3/\text{yıl}$ 'dır (İSKİ, 1997).



Şekil 4.1. BMJ ve BBJ ile bunların birleşmesinden oluşan BBMJ

4.1.1. İstanbul Boğazı ve çevresinde hava sıcaklığı

Karadeniz ılıman ve tropik bölgeler arasında geçiş oluşturur. Son 120 yıllık gözlemlere göre, kışların %15'i sert, %35'i orta sertlikte, %50'si ise ılıman geçmiştir. Ancak hava sıcaklıkları termal denge ve atmosferik çevrimlere bağlı olarak mevsimlere ve yöreye göre değişir (Şekil 4.2). En düşük yıllık ortalama sıcaklıklar kuzeyde 9.9°C (minumum -28°C), en yüksek yıllık ortalama sıcaklıklar güneyde 14.5°C (maksimum 40°C)'dir. Karadenizin yıllık ortalama nem oranı %70 - 80 arasındadır (İSKİ, 1997).

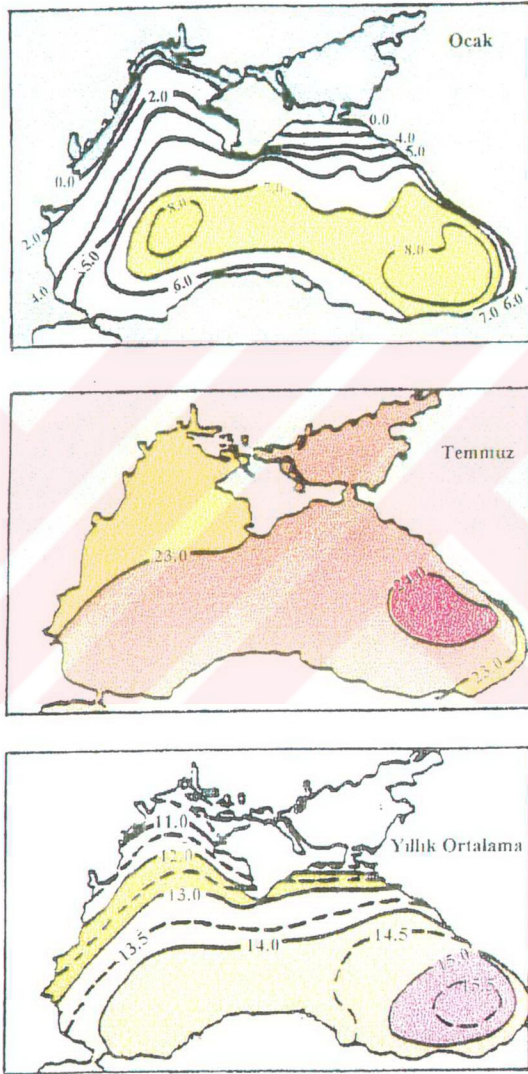
I. Kısımda bölgenin ortalama hava sıcaklığı dağılımı Şekil 4.3a'da verilmiştir. Hava sıcaklığı ilkbaharla birlikte artarak, Ağustos ayında en yüksek ortalama değeri olan 23°C civarına ulaşmaktadır. Kış aylarında ise 6°C , ortalama en düşük değer olmaktadır. II. Kısım'da da aynı ortalama sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir. Hava sıcaklığı kışın ortalama 5°C , yazın 25°C civarında gerçekleşirken, bunlara bağlı olarak deniz suyu yüzey sıcaklığı ise $4-25^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir.

4.1.2. İstanbul Boğazı ve çevresinde atmosferik basınç

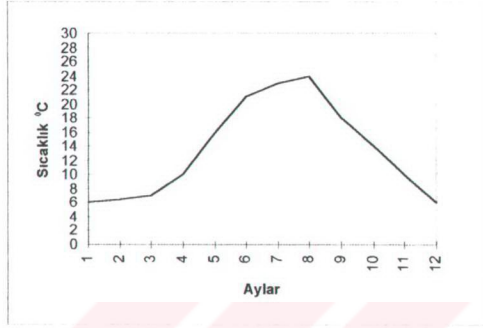
I. Kısım'da atmosferik basınç değerleri genelde 1008 ilâ 1014 mb arasında değişmektedir. Yıl içerisinde en yüksek basınç değerine Şubat ve Ekim aylarında (1014 mb), en düşük basınç değerine ise yaz aylarında (1008 mb) rastlanmaktadır. Yıllık ortalama atmosferik basınç değeri 1012 mb civarındadır (Şekil 4.4a).

II. Kısımda atmosferik basınç, Şubat ve Ekim aylarında en yüksek ortalamalar ile sırasıyla 1016 ve 1018 mb ortalama değerlerine ulaşmakta, Nisan-Haziran periyodunda ise 1011 mb'lik ortalamayla minimum değerlere inmektedir (Şekil 4.4b).

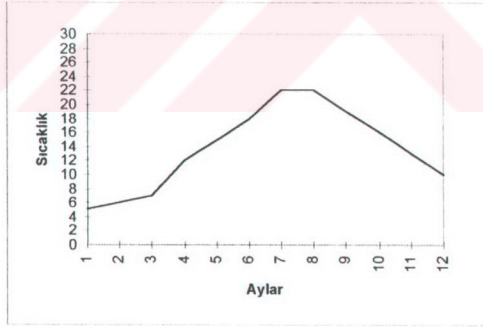
Şekil 4.5'den de anlaşılacağı gibi, İstanbul Boğazı'nda atmosferik basınçla su seviyesi değişimi arasında bir ilişki vardır. Zira basınç değerlerinin yükseldiği, yani deniz yüzeyine atmosferik baskının arttığı durumlarda deniz seviyesi düşmektedir. Bu da Boğaz'daki su seviyesi değişimlerine atmosferik basıncın ne kadar etkili olduğunun göstergesidir.



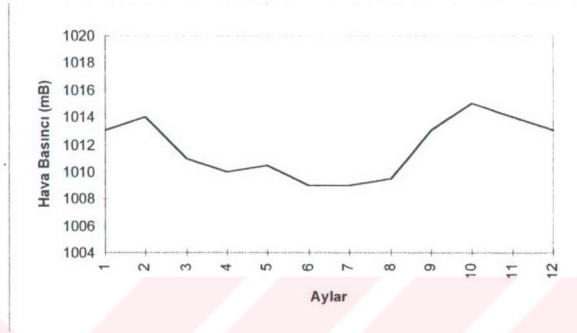
Şekil 4.2. Karadeniz üzerinde hava sıcaklıkları dağılımı (İSKİ, 1997)



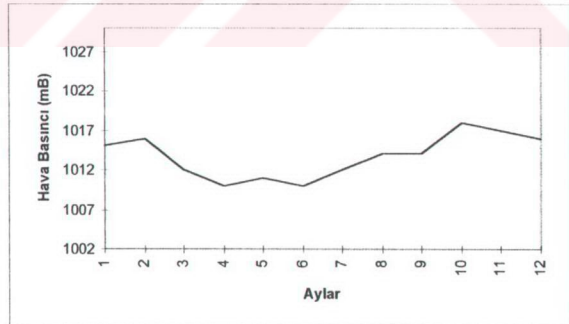
Şekil 4.3a. Aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı (Kumköy) ( SK ,1997)



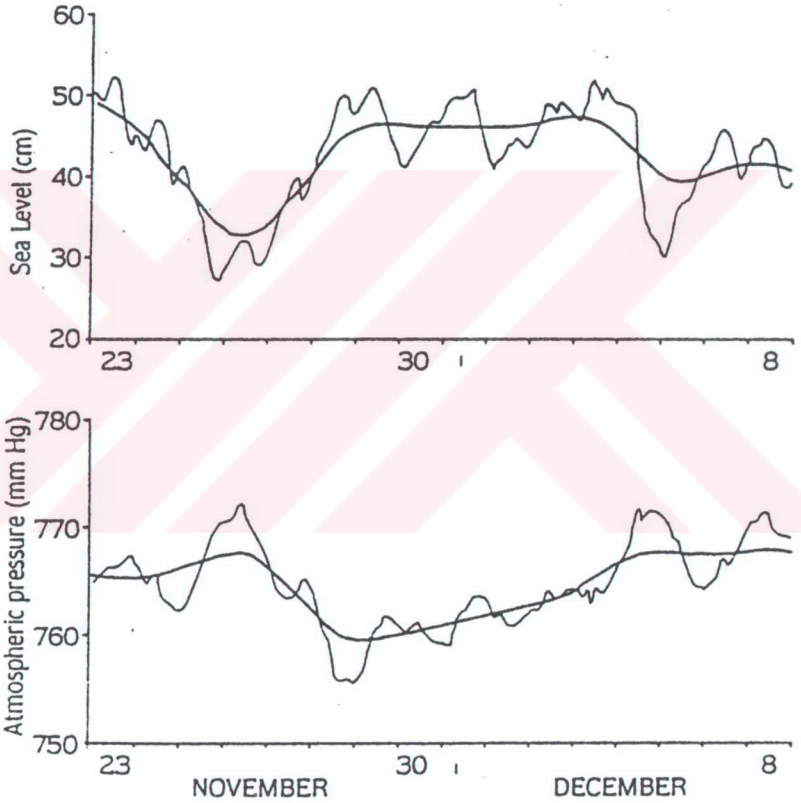
Şekil 4.3b. Aylık ortalama hava sıcaklığı dağılımı ( ile) ( SK , 1997)



Şekil 4.4a. Aylık ortalama basınç dağılımı (Kumköy)



Şekil 4.4b. Aylık ortalama basınç dağılımı (Şile) (İSKİ, 1997)



Şekil 4.5. Arnavutköy'deki su seviyesi ile Kandilli'deki atmosferik basınç değişimi ilişkisi (Yüce ve Alpar, 1994)

4.1.3. İstanbul Boğazı ve çevresinde hakim yağış rejimi

Yağışların %30'luk kısmını içeren periyottaki (Nisan - Ekim) yağış dağılımı, Şekil 4.6a'da görülmektedir. I. kısımda bölgenin yıllık ortalama yağış dağılımı incelendiğinde en düşük yağış ortalaması 22 mm ile Temmuz ayında, en yüksek yağış ortalaması ise, 100 mm ile Aralık ve Ocak aylarında gözlenmektedir.

II. kısımda ise en yüksek aylık yağış miktarı, Aralık ve Ocak aylarında sırasıyla 110 ve 100 mm olarak görülmektedir. Şile civarına yağışların büyük bir kısmının Kasım - Mart ayları arasında düştüğü Şekil 4.6b'den anlaşılmaktadır.

4.1.4. İstanbul Boğazı ve çevresinde hakim rüzgarlar

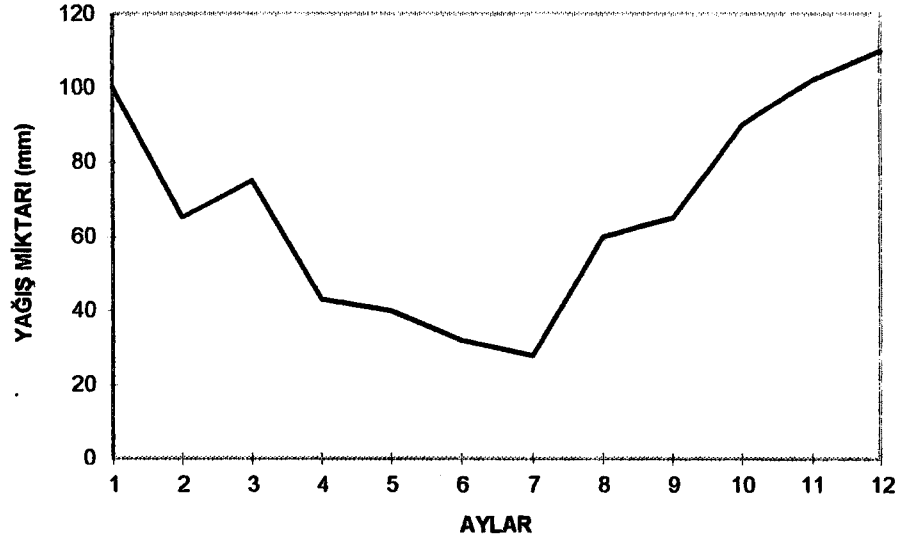
Karadeniz'de etkin bir rüzgar yönünden söz edilemez. Ancak büyük oranda kuzeyli rüzgarların etkinliği görülmektedir. Kış aylarında BBJ kesiminde kuzeyli rüzgarlar kadar güneyli rüzgarlar da etkindir. Ancak yaz aylarında kuzeyli zayıf rüzgarlar daha çok görülür. Bahar aylarında ise rüzgar yönleri kararsızdır. Yıllık ortalama rüzgar hızı kıyı kesimlerinde ve BBJ kesiminde 7 m/sn'yi aşmaz. Türkiye kıyılarında en şiddetli rüzgarın 40 m/sn'yi aştığı görülmüştür (Yüce, Türker, 1991).

Tablo 4.1a ve 4.1b'de özetlenen bölgenin ortalama rüzgar durumu incelendiğinde, yaz ve kış mevsimlerinde esen rüzgarların en yüksek ortalamaya sahip oldukları gözlenmektedir. Bölgede hakim rüzgarın kuzeydoğu (poyraz) yönlü olduğu, en az etkili rüzgarın ise güneyli rüzgarlar olduğu görülmektedir.

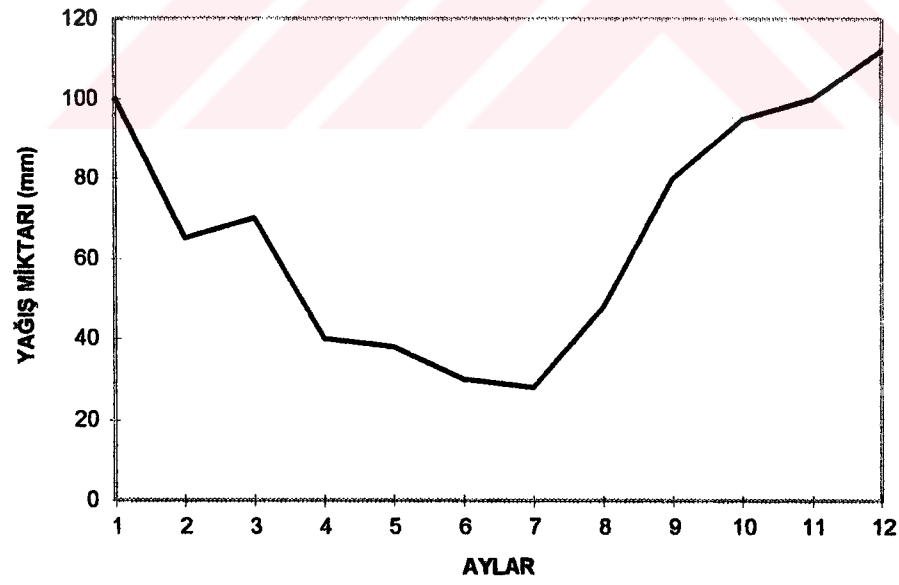
I. kısımda rüzgar durumu incelendiğinde genellikle bu bölgede kuzey ve kuzeydoğu rüzgarlarının hakim olduğu görülür. Bu rüzgarların etkisi ile saat yelkovanının tersi yönünde (siklonik) yüzey akıntıları oluşmakta ve bu sirkülasyonlar büyük çaplı siklonik su kütlesi hareketlerini etkilemektedirler. Şekil 4.7'de görüldüğü üzere, kuzeyli rüzgarlar (Yıldız) en kuvvetli olarak Temmuz ayı olmak üzere, Nisan ve Ekim aylarında esmektedir. 19 yılın ortalaması (1952 - 1970) alındığında, Temmuz, Nisan ve Ekim aylarının ortalama rüzgar hızları sırasıyla, 5 m/s, 4.3 m/s ve 4 m/s'dir. En düşük kuzeyli rüzgar, 2.3 m/s esme hızıyla Eylül ayında gözlenmiştir. Poyraz rüzgarı Ağustos ayında 5.3 m/s esme hızı ile adeta bir pik

yapmaktadır. Göreceli olarak, Mayıs ayında 4.2 m/s'lik esme hızı ile ikinci en önemli esme periyodu gözlenmektedir. Poyraz rüzgarının en düşük estiği periyotlar; Mart, Haziran ve Aralık ayları olarak gözlenmiştir. Kuzeybatılı rüzgarların (Karayel) aylık ortalamalarının yıllık dağılımı incelendiğinde, genelde rüzgar hızının aylık değerleri arasında çok büyük farkların olduğu, ancak en şiddetli Karayel rüzgarlarının Temmuz ve Ekim aylarında sırasıyla 10.2 m/s ve 9.3 m/s civarında estiği görülmektedir. Bölgede en etkili rüzgarlar, estiği periyotlarda yüksek esme süratine sahip Karayel rüzgarıdır. Şekilden en kuvvetli Lodos rüzgarları ise Haziran ayında ortalama 4.3 m/s olarak gözlenmektedir. Diğer aylarda ise Lodosun ortalama esme hızı yaklaşık 2 m/s civarındadır. Bu bölgede kuzeydoğulu rüzgarlar (Poyraz) en sık olarak sırasıyla, sonbahar, yaz, kış ve ilkbaharda eserken, kuzeyli rüzgarlar (Yıldız) en sık olarak kış ve sonbaharda esmektedirler. Karayel ve Lodos ise bölgede en sık ilkbaharda gözlenmektedir (Tablo4.1a ve Tablo 4.1b).

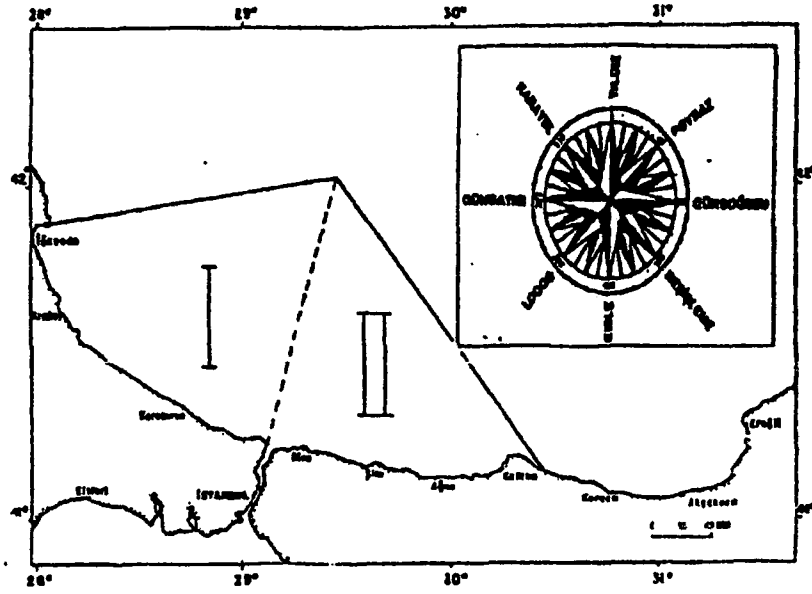
II. Kısımda, özellikle Ocak ayında rüzgar, 6-8 m/s ile en yüksek ortalama sahiptir. Rüzgarın en zayıf estiği Haziran, Temmuz, Ağustos aylarında rüzgar şiddeti 4-6 m/s'dir. Bölgenin rüzgar şiddeti yıllık ortalaması 5-6 m/s civarındadır. Kış aylarında yaklaşık ortalama rüzgar hızı 6-7 m/s'dir. En düşük ortalama rüzgar hızına sahip yaz aylarında ortalama hız 4-5 m/s civarında olup, yıllık ortalama rüzgar hızı yaklaşık 5 m/s'dir. Kış aylarında ortalama 10 - 16 m/s ile rüzgar hızı en yüksek değere ulaşmaktadır. Bölgenin kuzey (Yıldız), kuzeydoğu (Poyraz), kuzeybatı (Karayel) ve güneybatı (Lodos) rüzgar grafikleri Şekil 4.7c'de verilmiştir. Şekilde kuzeyli (Yıldız) rüzgarların yıllık ortalama hız dağılımı incelendiğinde, Temmuz ayında yaklaşık 14.5 m/s ile en yüksek ortalama esme hızı, Şubat ve Kasım aylarında ise sırasıyla 11.8 m/s ve 10.5 m/s'lik kuzeyli rüzgar hızları görülmektedir. En düşük esme süratine sahip kuzeyli rüzgarlar ise Ocak, Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarında gözlenmektedir. En yüksek kuzeydoğulu (Poyraz) rüzgarın esme hızı Temmuz ayında ve yaklaşık 11.3 m/s'dir. En düşük ise Şubat ve Nisan aylarında yaklaşık 4.5 m/s'dir. Kuzeydoğulu rüzgarların bölgede en sık olarak Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında estikleri gözlenmektedir. Bölgede en şiddetli Karayel rüzgarı istatistiksel olarak Mart, Mayıs ve Ekim aylarında sırası ile yaklaşık 3 m/s, 2.2 m/s ve 2 m/s esme hızına sahiptir.



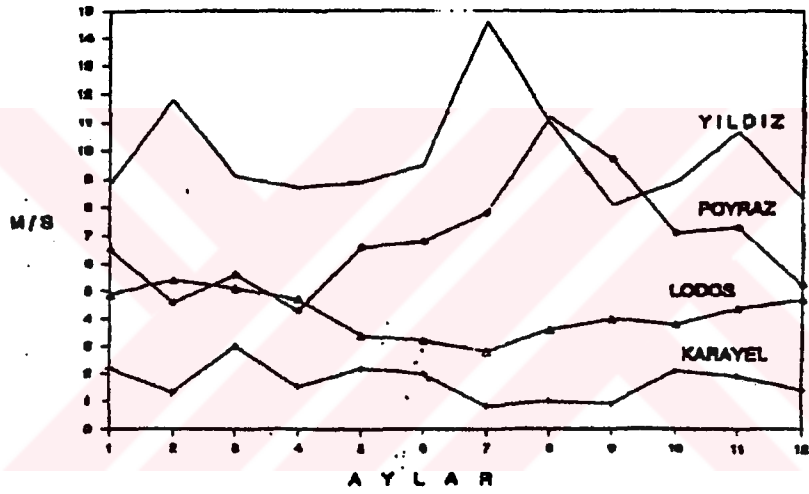
ŞEKİL 4.6a. Aylık ortalama yağış dağılımı (Kumköy)



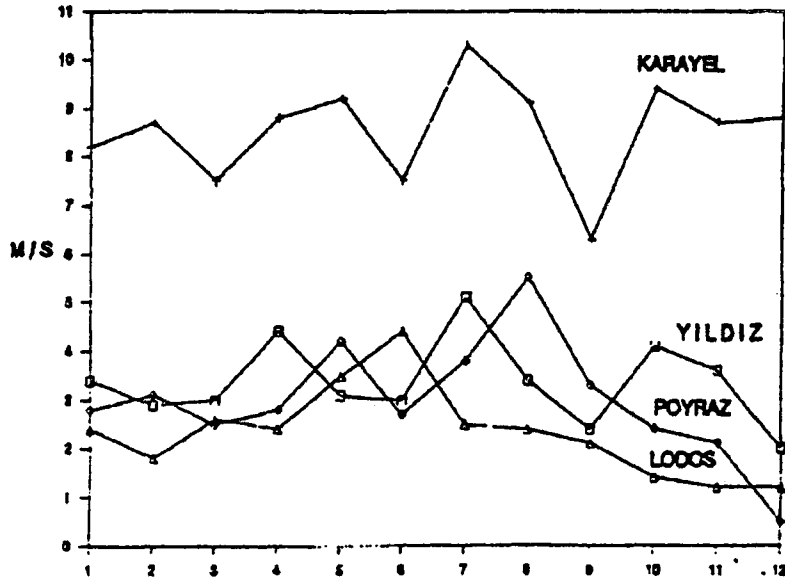
ŞEKİL 4.6b. Aylık ortalama yağış dağılımı (Şile) (İSKİ, 1997)



Şekil 4.7a. Meteorolojik alt bölgeler



Şekil 4.7b. Rüzgarların aylık ortalama hız dağılımı (Kumköy)



Şekil 4.7c. Rüzgarların aylık ortalama hız dağılımı (Şile) (İSKİ, 1997)

En düşük şiddetli karayel rüzgarının esiş periyodu ise Temmuz - Eylül ayları arasındadır. Güneybatılı rüzgarlar bölgede, en şiddetli olarak kış ve ilkbahar aylarında yaklaşık 5 m/s'lik bir ortalama hızla eserken, yaz aylarında ise en düşük ortalama (3 m/s) sahip olmaktadır. Bölgenin doğu kısmında genel olarak en şiddetli rüzgarların kış aylarında estiği gözlenmektedir. Rüzgarların yönler göre mevsimsel dağılımı ise genelde I. Kısım ile benzer özellikler göstermektedir. Bu bölgede kuzey doğulu rüzgarlar (Poyraz) en sık olarak yaz ve sonbahar aylarında eserken, kuzeyli rüzgarlar (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 4.1a ve 4.1b).

**TABLO 4.1a Güneybatı Karadenizin 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 4.1b Güneybatı Karadenizin mevsimsel ortalama rüzgar yön dağılım
yüzdeleri (İSKİ, 1997)**

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	SAKİN
KIŞ									
I. KISIM	28	28	13	12	4	3	3	4	5
II. KISIM	20	18	10	3	4	18	14	8	5
İLKBAHAR									
I. KISIM	12	16	14	16	8	8	4	10	12
II. KISIM	16	15	8	4	18	16	6	7	10
YAZ									
I. KISIM	10	52	20	3	3	2	4	—	6
II. KISIM	16	50	12	1	2	1	2	8	8
SONBAHAR									
I. KISIM	18	54	10	2	3	2	5	4	2
II. KISIM	18	39	16	2	6	6	1	1	11

4.2. İstanbul Boğazı'nın Morfolojik Özellikleri

Türk Boğazlar Sistemi'ni oluşturan İstanbul ve Çanakkale Boğazları'nın oluşumu hakkında jeolog ve coğrafyacıların uzlaştıkları nokta, bunların akarsular tarafından kazıldıktan sonra deniz tarafından istilaya uğramış vadiler olduğudur. Üzerinde tartışılan nokta ise; bugünkü boğazların aynı vadiye ait parçalar olup olmadığı ve vadilerden geçen aşındırıcı akarsuların akış yönleridir.

Boğazları oluşturan eski vadi parçalarının hangi kıta parçasına ait olduğu hakkında değişik fikirler mevcuttur. Geçmiş dönemdeki araştırmacılardan Philippon (1898), Toula (1901) ve Cvijic'e (1908) göre bu vadi parçaları, şimdiki Karadeniz'in yerinde bulunan bir iç denizin sularını Akdeniz'e doğru boşaltan bir nehre aitken, Hcernes (1909) ve Andrussov'a (1900) göreyse daha önce denizlerin üzerinde bulunan Ege karaları üstünde Karadeniz'e doğru uzanan bir vadinin parçalarıdır. 1904 yılında The English adlı dergide yer alan bir makaleye göreyse, bu vadi parçaları birbirinden tamamı ile ayrı, Marmara Denizi'ne ait parçalar olarak kabul edilmiştir.*

Boğazların denizaltı profilleri, olukların kayalık zeminini hiç göstermemektedir. Yerli kayanın meydana çıkmış olduğu yerde de hemen hiçbir meyil kesilmesi gerçekleşmemektedir. Böyle bir yapı, Boğazların profilini Batı Avrupa'daki Rhein, Rhone gibi alüvyonlu bir yatak üzerine yerleşmiş büyük nehir mecralarına benzetmektedir (Bu nehirlerin alüvyonlu zeminlerinde de yerli kaya görünse bile meyil kesilmesi görülmemektedir). (Şekil 4.8). Dolayısıyla, Boğaz oluklarının sert kaya içinde sular tarafından oyulduktan sonra, bu suların taşıma kuvvetinin değişmesi yüzünden olukların birikme sahası haline geldiği ve bugün, içinden geçen akıntının kuvvetiyle orantılı bir profil oluşturduğu fikri açığa çıkmaktadır. Zira Boğaza akan başlıca derelerin mansabları civarında yapılan bütün sondajlar, buralarda en aşağı 10 - 40 metrelik alüvyon birikintisi göstermektedir (Darkot, 1938).

Marmara Denizi ile Karadeniz'i birbirine bağlayan İstanbul Boğazı, uzunluğu 31 kilometre, genişliği 0.7 kilometre ile 3.5 kilometre arasında değişen, derinliği ise 30 metre ile 110 metre arasında olan bir çok açıdan önem taşıyan bir su yoludur. Marmara çıkışının 3 kilometre

* Tüm bu eski kaynaklarla ilgili bilgiler Besim Darkot'un 1938 yılında yazdığı Coğrafi Araştırmalar 1 adlı eserinde yer almaktadır.

kadar kuzeyinde derinliği 33 metre olan bir eşik ve Karadeniz çıkışından 4 kilometre sonra derinliği 60 metre olan ikinci bir eşik bulunmaktadır. Boğazın en derin yeri Kandilli - Bebek açıklarında olup, 110 metredir (Şekil 4.9)

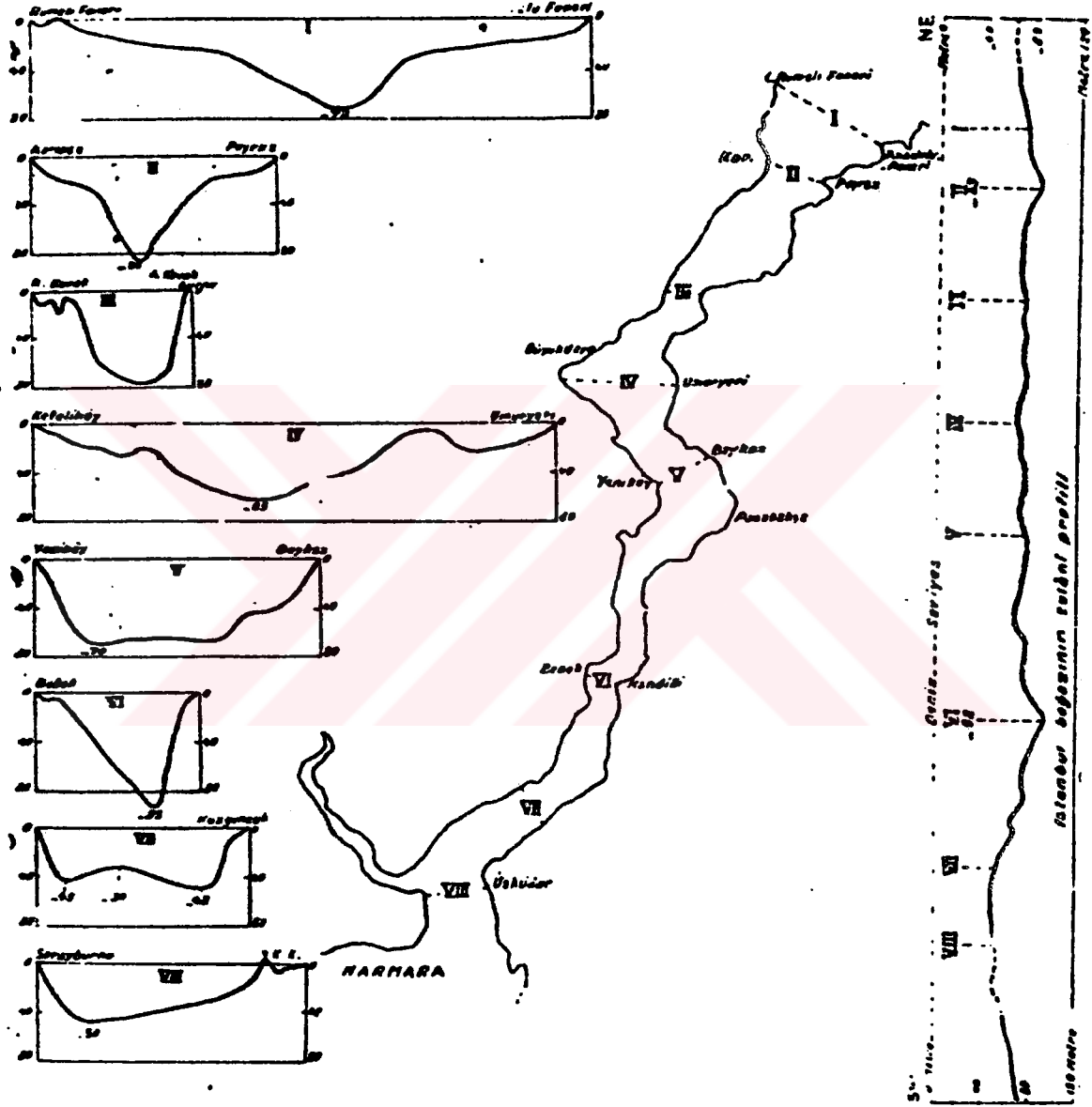
İstanbul Boğazı Karadeniz'e ani bir genişlemeyle açılır. Bu açılımın tabanında Boğazın doğal bir uzantısı konumunda dar ve derin bir kanal bulunmaktadır. Bu kanal 8 kilometre kadar Boğaz ile aynı yönde (kuzeydoğu yönünde) uzanmakta, daha sonra kuzeybatıya dönerek kıta sahanlığına bağlanmaktadır (Şekil 4.10a/b).

60 metre derinlikteki Boğaz eşikinden başlayan bu kanalın derinliği eşik sonraki 75-80 metreye ve kıta sahanlığı sonunda 1000 metreye ulaşır. Kanalın genişliği ise 500 - 1000 metredir. BBJ'nin kıyıları 0 - 200 metre derinlikte olup, su derinliği 20 kilometrede 2000 metreye ulaşır (Şekil 4.10 c/d).

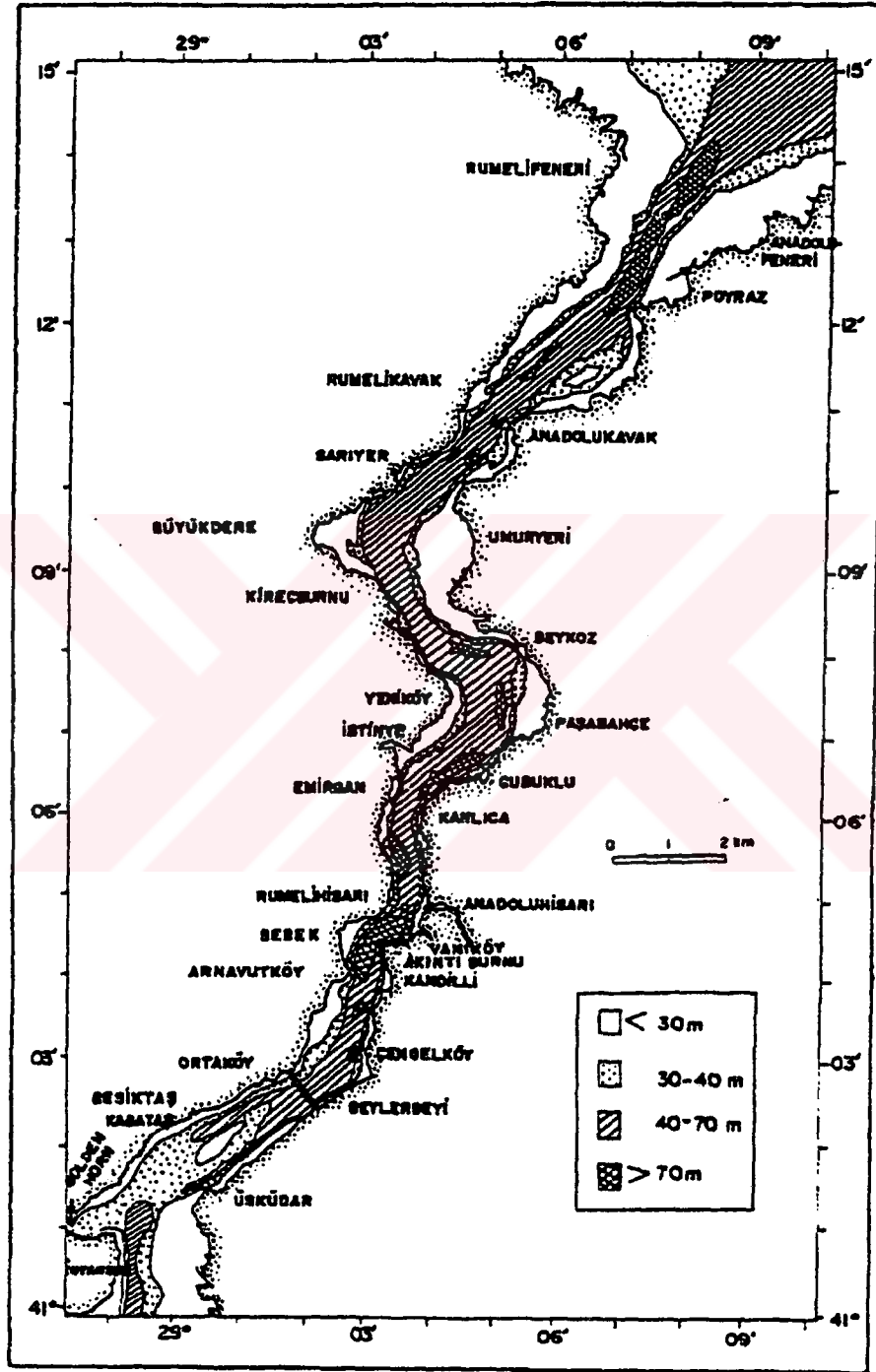
Marmara Denizi'nin kuzey kıyı tabakası genelde dardır. Büyükçekmece ve Küçükçekmece girintilerinde, batıda Bababurun'dan doğuda Yeşilköy'e kadar olan kısımda 10 metre hattı kıyından yaklaşık 300 ilâ 500 metre uzaktan geçmektedir. Ataköy açıklarında 1000 metreye kadar genişlemekte, Boğaziçinin güney ucunda yer alan Ahırburnu yakınlarında 100 metre civarına düşmektedir. Ahırkapıdan güney istikametine gidildikçe 10 metre derinlik seviyesi üzerinde sığ bir kumsal vardır.

Asya yakası kıyılarında 10 metre eş derinlik Kadıköy - Tuzla arasında 100 ilâ 200 metre genişliğindedir. Ancak Fenerbahçe açıklarında kıyından 1000 metre uzaklıkta ve İdealtepe açıklarında Maltepe Bankının bulunduğu yerde kıyından 4 kilometre açıktaki sığlıklar bulunmaktadır.

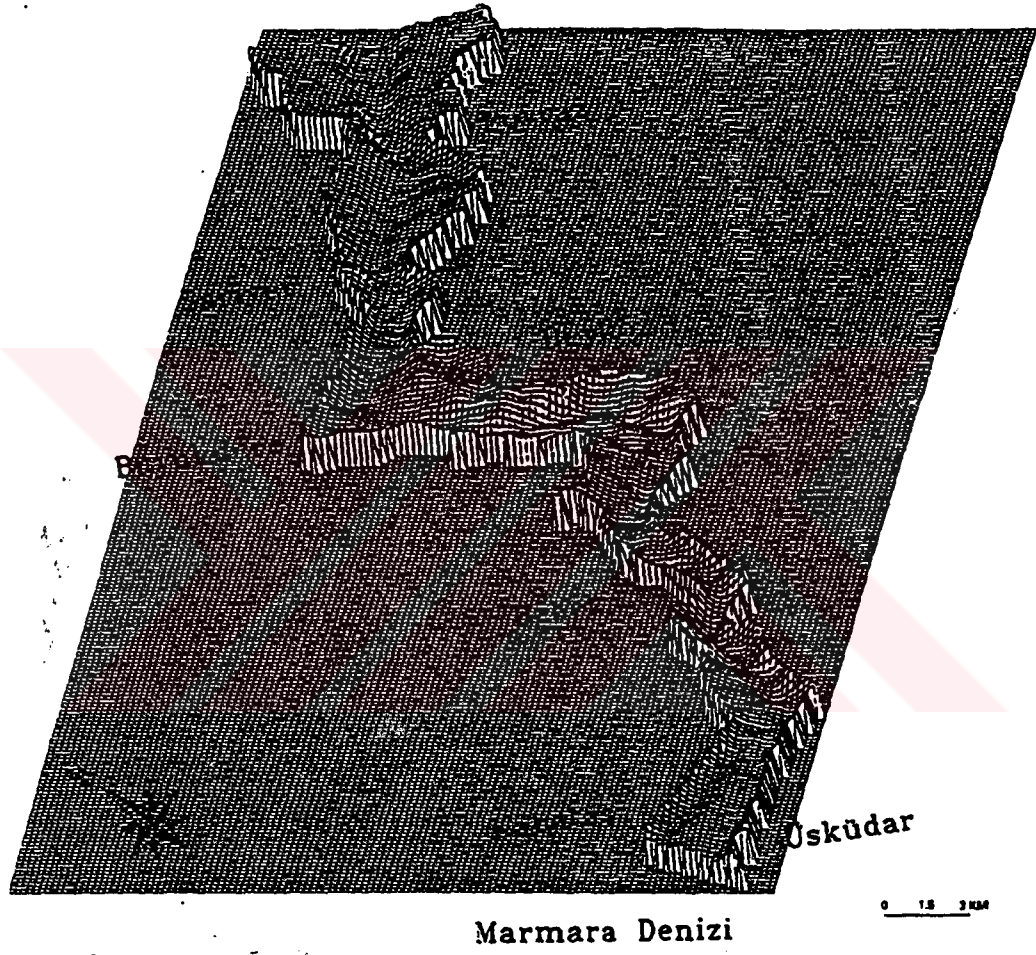
BMJ Kesimi Boğaz güney girişi ile Marmara Denizi 100 metre kotu arasında yaklaşık 700 km²'lik yüzeye sahip üçgen bir alandır (Şekil 4.11). Bu alanda -10 metre olan piklokin üst kotu kıyından 500 ilâ 1000 metre, -30 metre olan alt kotu ise 2500 ilâ 5000 metre mesafeden geçmektedir. Ancak bu kesimler içinde güneybatı yönünde Boğaz girişine doğru uzanan 50 - 60 metre derinliğinde kanallar da yer almaktadır.



Şekil 4.8. İstanbul Boğazı'nın denizaltı profilleri (Darkot, 1938)



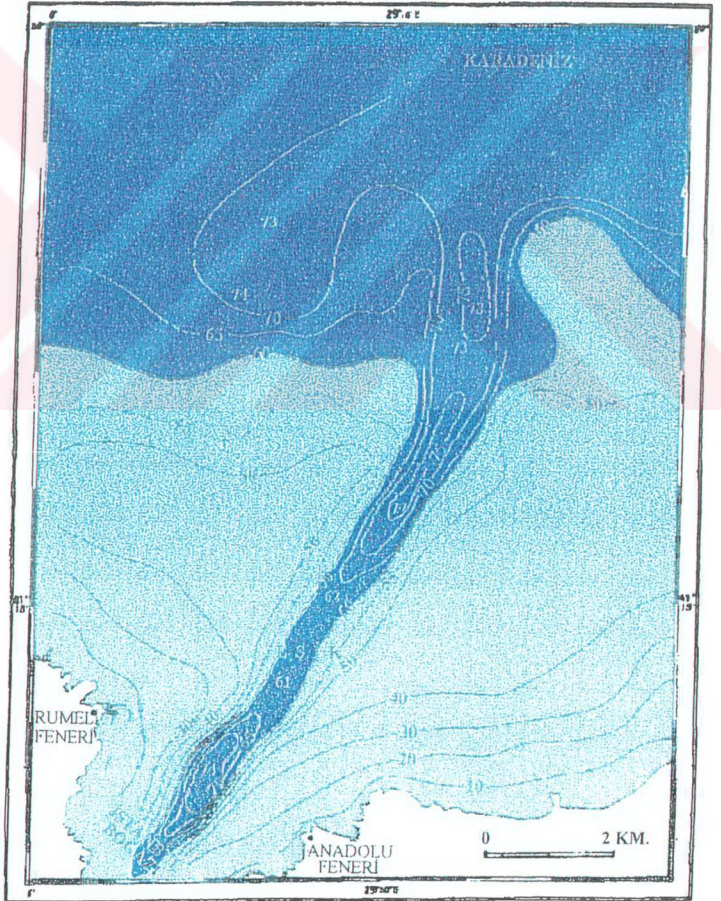
Şekil 4.9a. İstanbul Boğazı'nın morfolojik özellikleri (İSKİ, 1997)



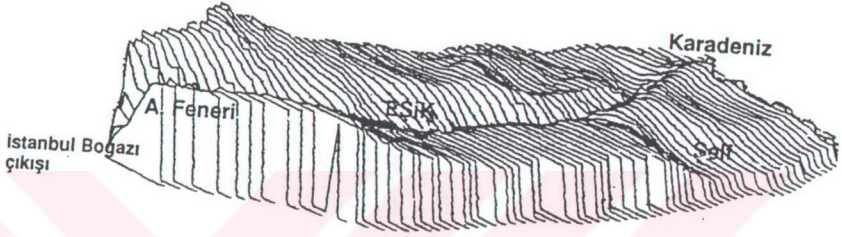
Şekil 4.9b. İstanbul Boğazı'nın dip topografyası (İSKİ, 1997)



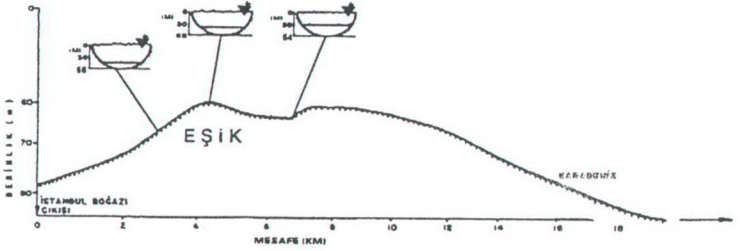
Şekil 4.10a. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışının dip topografyası (İSKİ, 1997)



Şekil 4.10b. GB Karadeniz'in batimetrisi



Şekil 4.10c. İstanbul Boğaz kanyonu (Şelfte)



Şekil 4.10d. İstanbul Boğaz kanyonu boykesiti (Şelfte) (İSKİ, 1997)



Şekil 4.11. BMJ batimetrisi

4.3. İstanbul Boğazı Su Kütlesinin Akıntı ve Tabakalaşma Özellikleri

İstanbul Boğazı akım sisteminde üst akım büyük ölçüde Karadeniz ve Marmara arasındaki seviye farkına, alt akım ise bu iki denizin suları arasındaki yoğunluk farkına bağlı kalmaktadır. Ayrıca bu akıntı özellikleri üzerinde rüzgarların, atmosfer basıncının ve Boğaz geometrisinin de etkisi bulunmaktadır.

4.3.1. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişindeki (BBJ kesimi) akıntı özellikleri ve Akdeniz suyunun Karadeniz'de incelenmesi

İstanbul Boğazı'ndaki iki tabakalı akım sisteminden alt akıntıyı oluşturan daha yoğun tuzlu Akdeniz suyunun Karadeniz'e ulaşip ulaşmadığı, çok uzun zamanlardan beri araştırılan önemli bir sorudur. Zira bu konu İstanbul metropolitan alanının atıksularının Boğaz'ın dip akıntısına verilmek suretiyle Karadeniz'e ulaştırılarak bertaraf edilebileceği hipotezinin temel desteğini oluşturmaktadır.

1943 ilâ 1946 yılları arasında Ulyott ve Ilgaz tarafından yapılan araştırmalarda çok kuvvetli güney rüzgarları hariç, Akdeniz suyunun Karadeniz'e girişinin olmadığı, Boğaz'ın kuzeyindeki eşiğin buna engel olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak V. A. Vodyanitsky (1948) bu sonucu eleştirerek, Karadeniz'in dengeli tuz bütçesinin ancak Akdeniz'in yüksek tuzlu sularının Karadeniz'e girmesi ile sağlanabileceğini idda etmiştir. Pektaş (1953 - 1954) ise, Akdeniz'in Karadeniz'e akısını kabul etmekle beraber, bunun ancak belli aylarda olduğunu, Akdeniz sularının yaz aylarında sadece Boğaz önündeki eşiğe ulaştığını sonra üst akıntılara karışarak geri döndüğünü vurgulamıştır.

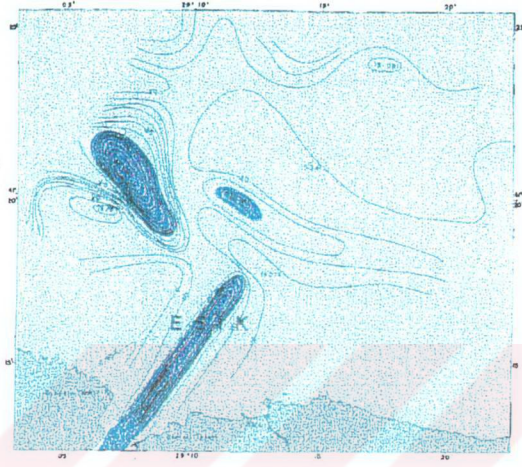
Karadeniz ile İstanbul Boğazı'nın birleştiği bölgede deniz tabanında olan kanal önce 8 kilometre kuzeydoğu istikametinde, sonra kuzeybatı istikametinde uzanarak devam etmektedir. Derinliği 75 - 80 metre eni ise 500 - 1000 metre arasında değişmektedir. Kanal içinde Boğaz çıkışında 60 metre derinlikte bir eşik bulunmaktadır. Boğaz alt akıntısı kanal dışına taşmadan Karadeniz'e kadar ulaşmaktadır. Bu durum Boğaz çıkışında ara tabaka derinliğinin incelenmesiyle anlaşılabılır. Üst tabakanın tuzluluğu ‰ 17 - ‰ 18 civarında olduğundan ‰ 20 tuzluluğun gözleendiği derinlik üst tabakanın sınırı olarak ele alınmıştır. Bu, derinliğin 60 metre veya daha fazla olduğu üst tabakanın eşiğin derinliğine kadar indiği ve

neticede alt akımın eşiğin teşkil ettiği engelden dolayı Karadeniz'e ulaşmadığı anlamına gelmektedir. 1985 - 1988 yıllarında yapılan oşinografik ölçümler esnasında iki kez, 1989 yılında bir kez akımın Karadeniz'e çıkamadığı gözlenmiştir. Boğaz alt tabaka suyunun kapanma süresinin 2 - 3 gün mertebesinde olduğu ve bu süre zarfında bile alt ve üst tabakalar arasında ki karışımın normal akış durumundan fazla olmadığı belirlenmiştir (ODTÜ, 1989).

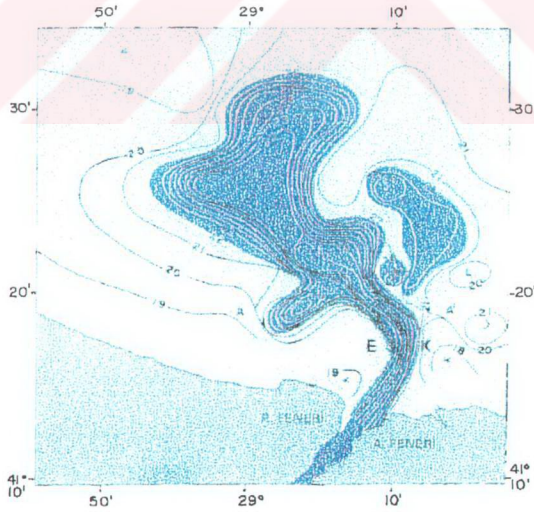
BBJ kesiminde, özellikle Boğaza yakın kesimlerde çok keskin bir tabakalaşma yapısı görülmektedir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13). Oğuz ve diğerlerinin 1990 yılında yaptığı bir araştırmaya göre, **Boğaz boyunca Karadeniz'e doğru sürekli derinleşen ara yüzey tabakası, Boğaz çıkışında 60 metrelik eşiğin üzerinde 50 metre derinliğe ulaşmaktadır.** Bu tabakanın altında, Boğaz boyunca gelen alt akım, tabandaki kanalı takip etmekte ve kanaldan çıkış tüm karışımlar sonucu kıta sahanlığına doğru ince bir su kütlesi olarak yayılmaktadır. Boğaz çıkışında yaklaşık ‰ 37 olan alt akım tuzluluğu; kanal içinde ‰ 1.7, kanal dışında ‰ 3.2 kadar değişmekte, kıta sahanlığına doğru ise ‰ 10 civarında düşüş göstererek sonuçta ‰ 22'ye kadar azalmaktadır. Daha derin sulara Karadeniz'in genel sirkülasyonuna uyarak doğru yönünde dağılmaktadır. BBJ'nin Karadeniz kesiminde ara yüzey (Karadeniz'de birbirinden kesin olarak ayrılmış ‰ 18 tuzluluklu yüzeyssel su ve ‰ 23 tuzluluklu alt tabaka suyu olmak üzere iki su kütlesi mevcuttur.) 100 metre derinliğe ulaşmaktadır. Bu nedenle Boğazdaki su giriş çıkışında etkisi görülmez (İSKİ, 1997).

Şekil 4.14'de ‰ 24'den büyük tuzluluğa sahip suların Karadeniz'e çıkışındaki dağılım görülmektedir.

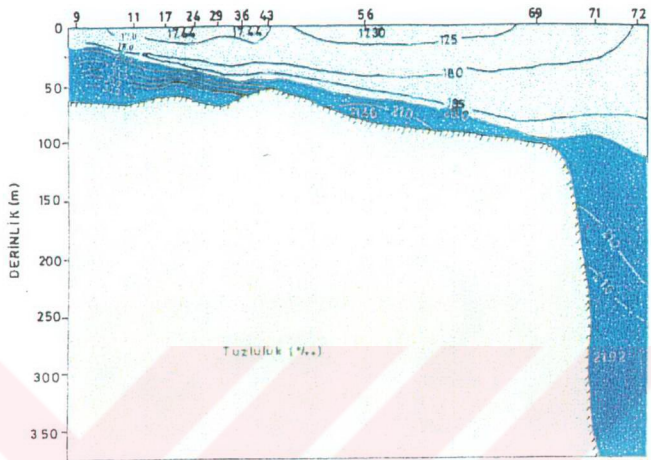
1986 ilâ 1988 yılları arasında Özsoy ve diğerlerinin yaptıkları oşinografik incelemelerin su ve tuz bütçelerinden çıkardıkları sonuçlara göre, Ege Denizi'ne giren suyun ancak % 30'u Karadeniz'e ulaşmaktadır. Ege'den gelen suyun % 41'i Çanakkale Boğazı'ndan, % 24'ü Marmara Denizi'nden, % 3'ü İstanbul Boğazı'ndan üst akıntıya karışmakta ve tekrar Ege'ye dönmektedir. Buna karşılık İstanbul Boğazı'na giren alt akımın % 80'i Karadeniz'e ulaşmaktadır. Bu durum Camp-Tekser raporunda da, Karadeniz girişindeki tuzluluk miktarının Marmara girişine kadar % 10 artması göz önüne alınarak yapılan hesaplar sonucunda alt akıntının % 20'sinin üst tabakaya karışarak Marmara'ya geri döndüğü şeklinde belirtilmiştir. Buna göre İstanbul Boğazı alt akımının ortalama % 20'sinin Boğaz boyunca üst tabakaya karışarak Marmara'ya geri dönebileceği ve bu nispetin % 25'in üstüne çıkması ihtimalinin düşük olduğu söylenebilmektedir (Zambal, 1991).



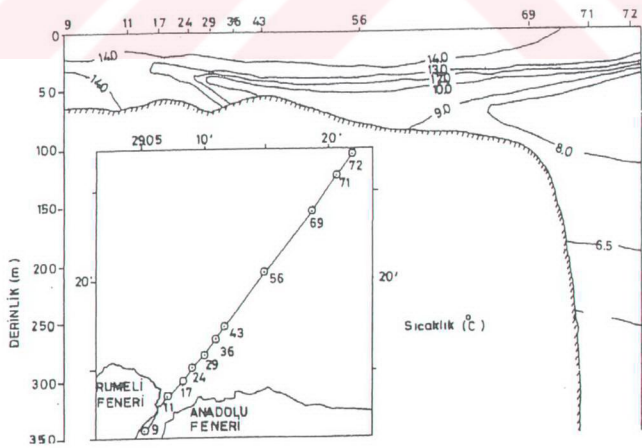
Şekil 4.12a. Akdeniz suyunun güneybatı Karadeniz’de dağılımı (Haziran 1983)

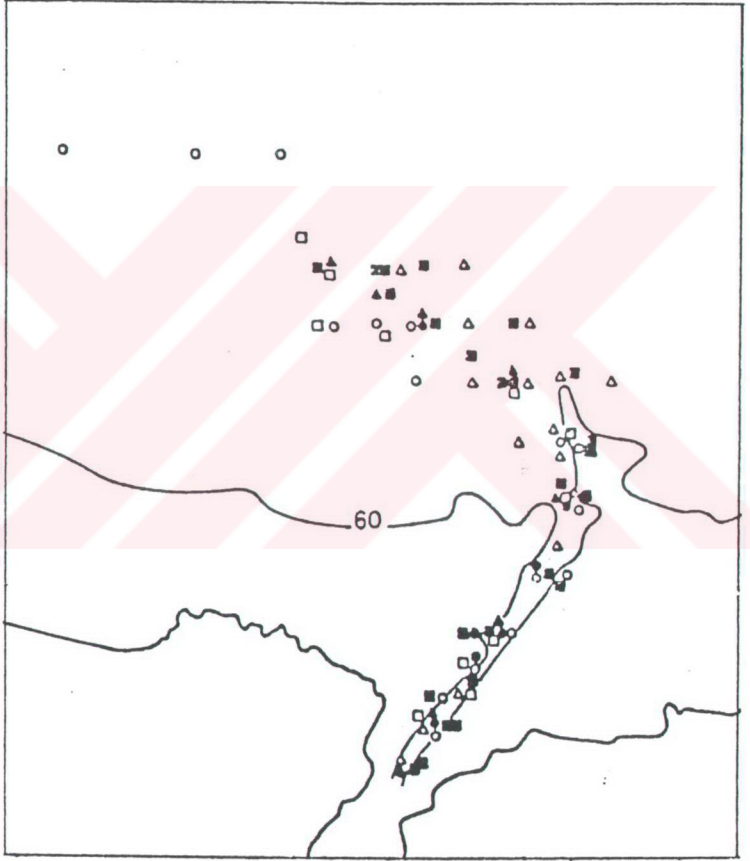


Şekil 4.12b. Akdeniz suyunun güneybatı Karadeniz’de dağılımı (Eylül 1984)
(İSKİ, 1997)



Şekil 4.13a. BBJ’de tuzluluk dağılımı (Yüce v.d., 1991)





Şekil 4.14. ‰ 24'ten büyük tuzluluk değerine sahip dip sularının İstanbul Boğazı'nın Karadeniz çıkışındaki dağılımı (Meriç, 1990)

4.3.2. İstanbul Boğazı su kütleindeki akıntı özellikleri

Yıllardan beri çeşitli araştırmacılarca Boğaz'daki alt ve üst akıntı debileri hakkında yapılan tahminler Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Boğaziçi'nde yıllık su debisi tahminleri

ARAŞTIRMACI	Marmara'ya Giden Yüzey Akım		Karadeniz'e Giden Alt Akım		Güneye Doğru Giden Net Akım	
	km ³ /yıl	m ³ /s	km ³ /yıl	m ³ /s	km ³ /yıl	m ³ /s
Möller (1917)	398	12.600	193	6.100	205	6.500
Skopintsev (1968)	400	12.680	195	6.183	205	6.497
Özturgut (1971)	548	17.400	249	7.900	300	9.500
Sümer (1981/87)	620	19.700	230	7.300	390	12.400
ODTÜ (1990)	670	21.300	170	5.500	500	15.000
Orhon (1993)	600	19.100	262	8.400	340	10.700
ÖEJV (1993)	600	19.100	303	9.600	300	9.500
Polat,Tuğrul(1995)	603	19121	353	11.193	250	7927

Tabloda da görüldüğü gibi, çeşitli araştırmacılarca değişik zamanlarda tahmin edilen akışlar birbirlerinden farklıdır. Bunun en önemli sebebi, araştırmaların yapıldığı yıllardaki mevsimsel özelliklerin birbirlerinden farklıdır. Yapılan bütün araştırmalar, İstanbul Boğazı'nın akıntı karakteristiğine meteorolojik koşulların (rüzgar, basınç, v.b), denizler arasındaki seviye farklarının, civardaki nehirlerden giren karasal kökenli suların ve morfolojik yapının çok önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Ancak daha dar bir çerçevede incelenecek olursa, İstanbul Boğazı'nda üst akım büyük ölçüde Karadeniz ve Marmara arasındaki seviye farkına, alt akım ise bu iki denizin suları arasındaki yoğunluk farkına bağlı kalmaktadır.

Deniz seviyesi değişimleri düzenli periyodik değişimlerle, düzensiz rastnal değişimleri içerir. Herhangi bir bölgede ki periyodik deniz seviyesi değişimleri güneş-ay-dünya sisteminin çekim etkileri ile oluşan kısa ve uzun periyotlu gel-git dalgalarıyla meydana gelir. Diğer taraftan, rastnal, periyodik olmayan deniz seviyesi değişimleri hava durumunun deniz üzerindeki etkilerini yansıtır. Rüzgarların ve atmosfer basıncının değişmesinden kaynaklanan ani seviye değişimleri, arayüzey konumunda ve akıntılar üzerinde büyük etkilere yol açmaktadır. İstanbul Boğazı civarında kuvvetli poyraz (kuzeyli rüzgarlar) rüzgarların ortaya çıktığı dönemlerde Karadeniz'den Marmara Denizi'ne giren su miktarı artmakta ve üst tabaka derinleşmektedir. Buna karşın lodos (güneyli rüzgarlar) rüzgarların etkili olduğu dönemlerde tamamen aksi bir durum ortaya çıkmaktadır.

İstanbul Boğaz'ındaki akıntıları etkileyen unsurların sisteme etkisinde belirgin bir zaman farkı görülmemektedir. Rüzgarlar ve atmosfer basınçlarındaki değişimler, gerek deniz seviyelerini, gerekse akıntıları birkaç saat içinde etkilemektedir. Bu nedenle atmosfer koşullarındaki kısa süreli değişimler bile akıntılara yansımaktadır. Her iki tabakada ölçülen akıntı hızlarında da, seviye değişimlerinden kaynaklanan günlük (24 saat) ve yarı günlük (12 saat) salınımlar yanında, atmosfer koşullarından kaynaklanan 3-4 gün ve daha yüksek periyotlu değişimlere rastlanılmıştır. Ancak, bu periyodik unsurlar akıntı sisteminde büyük değişiklikler yapacak mertebede değildir. Sistemin iki tabakalı yapısını bozacak, tabakalardaki akımlardan birini bloklayacak veya ortadan kalkmasına neden olacak şekildeki uç değişiklikler, şiddetli poyraz veya lodos rüzgarları tarafından yaratılmaktadır.

Ulliyott ve Ilgaz (1944) tarafından bildirildiğine göre, Fatin Gökmen Boğaz boyunca her iki yönden de gelen rüzgarları, Boğaz'daki sulara yaptıkları tesirler açısından üç kısma ayırmıştır;

1) Birkaç gün süren ve hızı saniyede 10 metreden fazla olan kuvvetli kuzey fırtınaları;

1943 yılı boyunca gerçekleşen 4 kuzey fırtınası boyunca, Boğaz'ın dibinde bulunan çok tuzlu su tamamiyle Boğaz'dan atılmış ve yerini Karadeniz'den gelen sular doldurmuştur. Bu çok tuzlu suların geriye kovulmasının en önemli biyolojik neticesi; Boğaz'da balık kırgınının gerçekleşmesidir. Zira alt akıntı sularının engellenmesi sonucunda oluşan âni sıcaklık ve tuzluluk değişimi balıklar üzerinde fizyolojik bir tesir oluşturmaktadır.

ii) Birkaç gün süren ve hızı saniyede 10 metreden fazla olan kuvvetli güney fırtınaları;

Yapılan gözlemlere göre, sert güney fırtınaları Boğaz'daki akıntı doğrultusunu değiştirmekte, olağan durumun tersine güneyden kuzeye doğru bir akıntı meydana gelmektedir. Bu aksi yönde giden akıntının balıkçılar arasındaki özel adı 'Orkoz'dur. Ilgaz'ın 1943 yılında yaptığı araştırmalarda, Orkoz'un oluştuğu zamanlarda yüzey sularındaki tuzluluk normal zamana göre arttığı, fakat dip sularının tuzluluğunun normale göre azaldığı vurgulanmıştır.

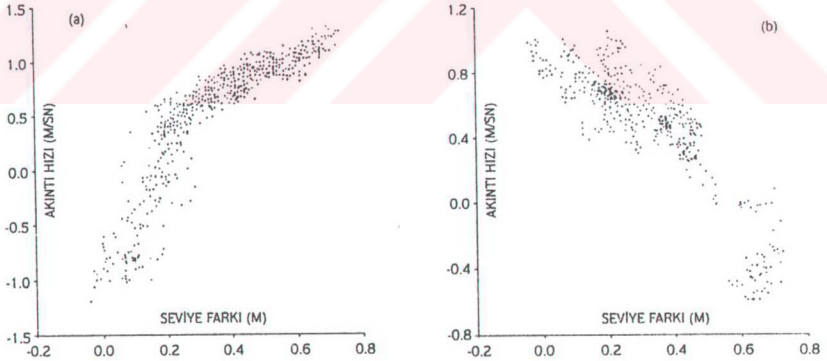
iii) Normal durum;

Ullyot ve Ilgaz (1943), bütün yıl boyunca % 50'yi oluşturan, saniyede 2 - 9 metre hızla esen kuzey rüzgarlarının oluşturduğu durumu normal durum olarak nitelendirmiştir. Tipik hava durumu olarak nitelendirilen bu anlarda, Boğaz oluğunda biri az tuzlu yüzey tabakası, öteki çok tuzlu alt akıntı olmak üzere iki çeşit su bulunduğu gözlemlenmiştir.

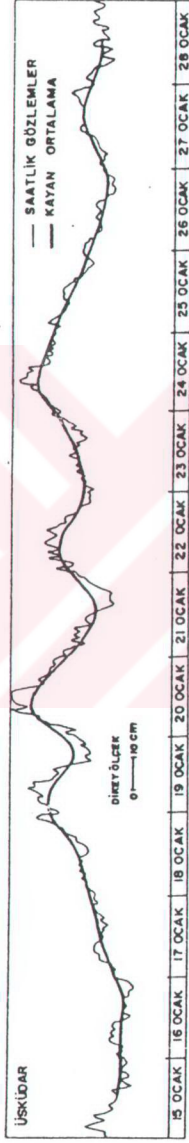
Arısoy (1995), Kumköy ve Yeşilköy meteoroloji istasyonlarında kaydedilen rüzgar hızlarının İstanbul Boğazı'nın kuzey girişindeki Poyrazköy deniz seviyeleri ile doğru, Marmara Denizi kıyısındaki Kumköy deniz seviyeleri ile ters orantılı ilişkileri olduğunu saptamıştır. Rüzgarlar gibi, bölgedeki atmosfer basınçları da İstanbul Boğazı'nın her iki tarafındaki deniz seviyeleri üzerinde farklı etkiler yaratmaktadır. Karadeniz üzerindeki yüksek basınç İstanbul Boğazı - Karadeniz girişinde deniz seviyelerini yükseltirken, Marmara Denizi üzerindeki basınç artışı Marmara'da deniz seviyelerinin alçalmasına neden olmaktadır. De Filippi vd. (1986), her iki havzanın basınç değişimlerine farklı tepkisini, Marmara Denizi'nin Ege Denizi dolayısıyla Akdeniz'e bağlı olmasına karşın, Karadeniz'in daha kapalı bir deniz olmasına yorumlamaktadırlar (Şekil 4.5).

Boğaz'daki akım sistemini doğrudan etkileyen Karadeniz ve Marmara Denizi'nin seviyeleri alt ve üst tabaka akıntı hızlarına farklı etkilerde bulunmaktadır. Karadeniz seviyesindeki artışlar serbest su yüzeyi eğimini arttırmakta, dolayısıyla üst tabaka akıntıları hızlanmaktadır. Bu durumun tersi olarak, Marmara Denizi seviyesindeki yükselme alt akıntılarının hızlanmasına yol açmaktadır. Baltalimanı üst ve alt tabaka akıntı hızlarının her iki deniz seviye farkıyla değişimi bu ilişkiyi açıkça göstermektedir (Şekil 4.15). Çeşitli araştırmacılar İstanbul Boğazı'nın iki ucundaki denizler için seviye farklarını 30 - 40 cm olarak tahmin

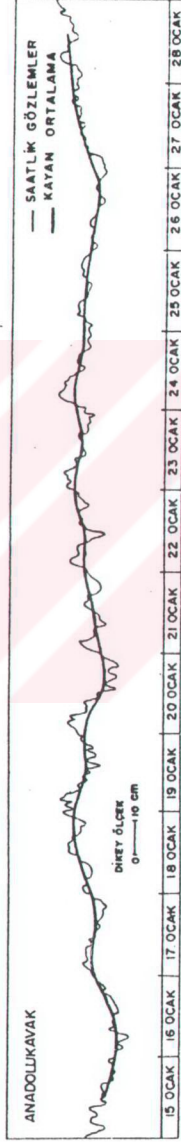
etmektedirler. Gunnerson ve Özturgut (1974) 35 cm, Çeçen vd. (1981) 33 cm, De Filippi vd. (1986) ise 37 cm değerini belirlemiştir. Arısoy (1995) ise bu değeri 30 cm olarak hesaplamıştır. İstanbul Boğazı'ndaki su seviye değişimlerini inceleyen araştırmacıların ortak görüşü, deniz seviyelerindeki bu değişimlerin rüzgar ve atmosfer basıncındaki değişimlerden kaynaklandığı şeklindedir. Yüce'nin (1986) çalışmalarından elde edilen atmosfer basıncı deniz seviyesi değişimine ilişkin grafikler Şekil 4.16'da verilmiştir.



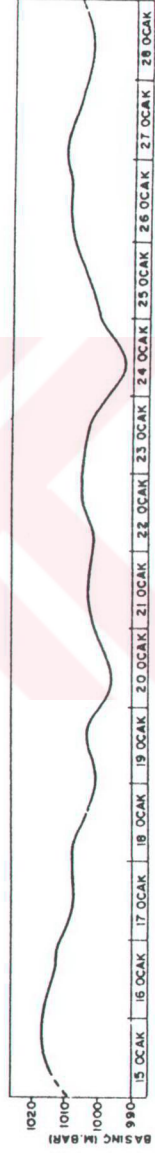
Şekil 4.15. Baltalimanı üst ve alt tabaka akıntı hızlarının seviye farkıyla değişimi (1985-86 yılı ölçümleri) (Arısoy, 1995)



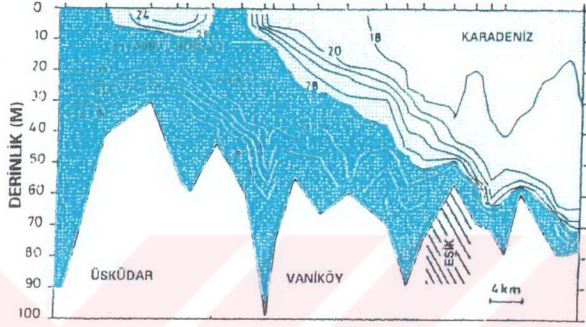
Şekil 4.16a. Üsküdar'da su seviyesi değişimi



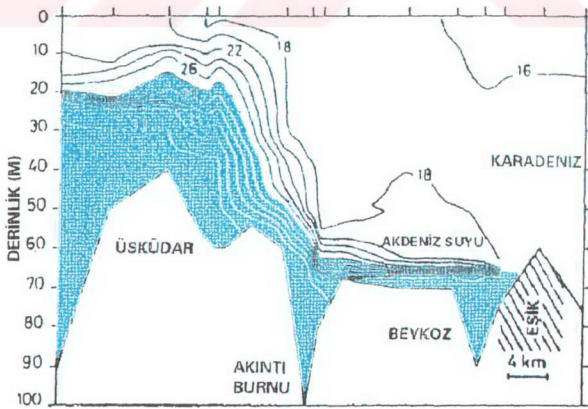
Şekil 4.16b. Anadolu Kavagı'nda su seviyesi değişimi



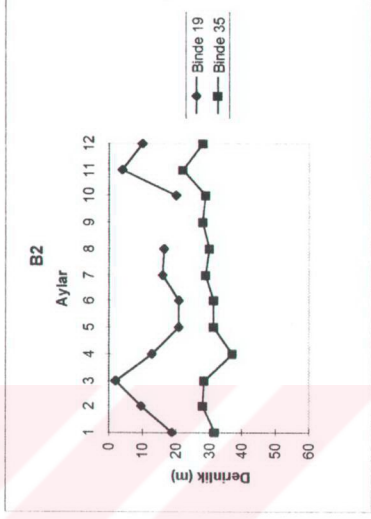
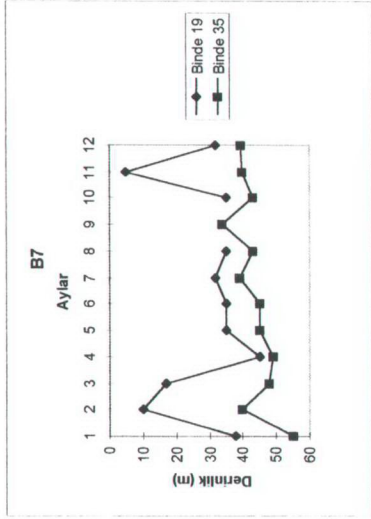
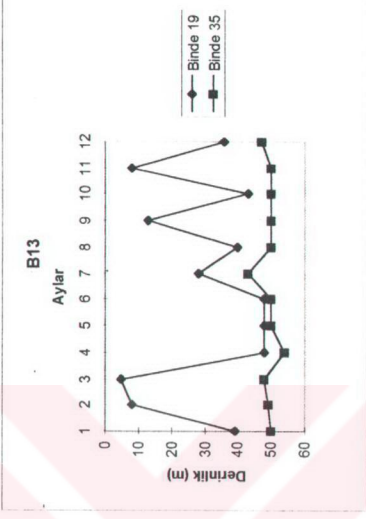
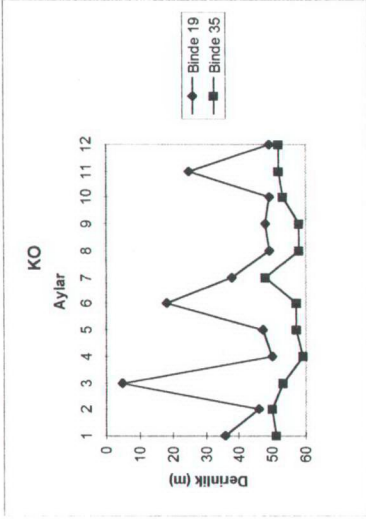
Şekil 4.16c. Basınç değişimi (Yüce, 1995)



Şekil 4.17a. Karadeniz yüzey suyunun İstanbul Boğazı'nda terslenmesi (Latif v.d, 1990)

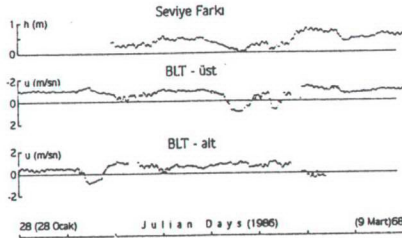


Şekil 4.17b. Akdeniz suyunun güneybatı Karadeniz'de terslenmesi (Latif v.d, 1990)



Şekil 4.18. Boğaz boyunca üst ve alt tabaka kalınlıklarının mevsimsel değişimi

Su seviyesindeki farkın 45 cm'nin üstüne çıkması alt akımı, 10 cm'nin altında kalması ise üst akımı tamamen bloke edebilir (Şekil 4.17). İSKİ'nin yaptığı çalışmada elde edilen verilerle üst akım ‰ 19, ‰ 35 olarak düşünülerek Boğaz boyunca dört istasyonda üst ve alt akımın aylık değişimi Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Bu şekle göre Kasım ayında üst akımın blokajı, Nisan ayında da alt akımın blokajı mümkün gözükmemektedir. Bu blokajların (özellikle alt akım blokajının) yıl içindeki oluşum yüzdeleri, atıksu deşarjlarının yaratabileceği risklerin değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Buna göre, alt tabaka blokajı yılın yaklaşık %10'unda oluşmaktadır. Şekil 4.19'de de birkaç gün süren güçlü lodos ve poyraz rüzgarlarının seviye farkında ve akıntılar üzerinde yarattıkları büyük değişimler görülmektedir.



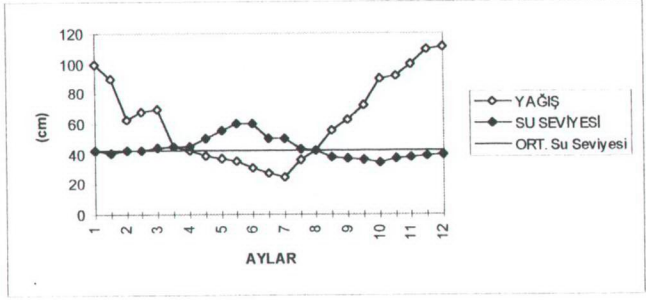
Şekil 4.19. Karadeniz-Marmara deniz seviye farkı, Baltalimanı üst ve alt tabaka akıntı hızları (Arisoy, 1995)

İstanbul Boğazı'ndaki akıntı karakteristiğini etkileyen bir diğer faktörde, bölgeye düşen yağış ve Karadeniz'e nehirlerden gelen karasal suyun deniz seviyesine olan etkileridir. Bölgenin aylık ortalama yağış miktarları 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 4.20). Örneğin yıl içerisinde en düşük ortalama yağış miktarları 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.

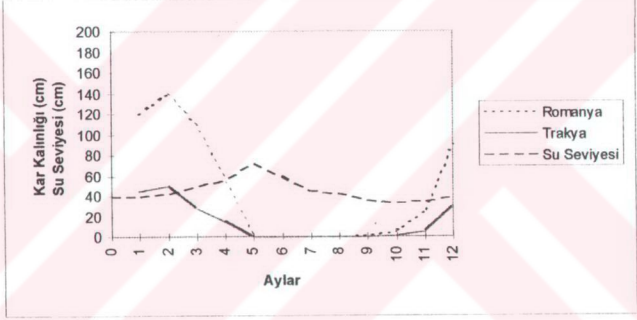
İstanbul Boğazı'nın morfolojisinde akıntı karakteristiğini etkilemektedir. Boğaz'daki mevcut eşik veya genişlik değişimleri, kritik altı veya kritik üstü akım hali oluşturarak içsel bir hidrolik sıçrama, yani tabakalar arasındaki ortak yüzeyin üzerinde kırık/dalgalı içsel bir dalga oluşturmaktadır. Latif vd. (1990) tarafından yapılan çalışmalar kuzey ve güneydeki eşiklere ek olarak, Kandilli'de 110 metre derinliğindeki dar geçitte üçüncü bir kontrol bölümünün varlığını göstermiştir. Ayrıca 36 metre eşikli Beşiktaş kanalında benzer durumlar nedeniyle çok az miktarda da olsa düşey karışma olduğu söylenebilir. İçsel hidrolik sıçrama kriteri olan Froude sayısı ile eş tuzluluk dağılımları bir arada değerlendirildiğinden karışımları açıkça görmek olasıdır (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22) (Şekil 4.23) (İSKİ, 1997).

4.3.3. İstanbul Boğazı'nın Marmara girişindeki (BMJ kesimi) su kütlesinde akıntı özellikleri ve Karadeniz suyunun Marmara Denizi'nde incelenmesi

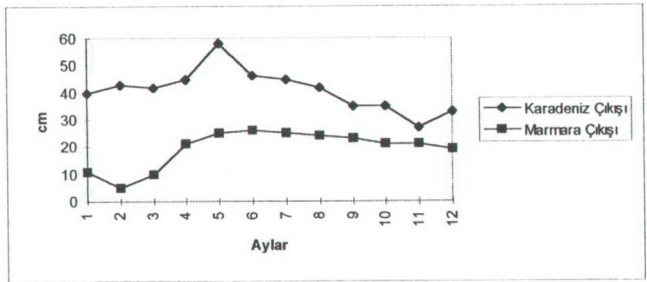
İstanbul Boğazı'nın Marmara çıkışı Karadeniz sularının etkisi altındadır. Bu bölgede derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk, δ , dağılımları ve bunların mevsimsel değişimleri Şekil 4.24'de verilmiştir. Buna göre, Marmara Denizi'nde iyi karışmış 10 metre derinliğinde bir üst tabaka, 30 metre ile 100 metre arasında homojen bir alt tabaka ve ayrıca bu iki tabaka arasında çok katmanlaşmış bir piknoklin tabakası yer almaktadır (Şekil 4.25).



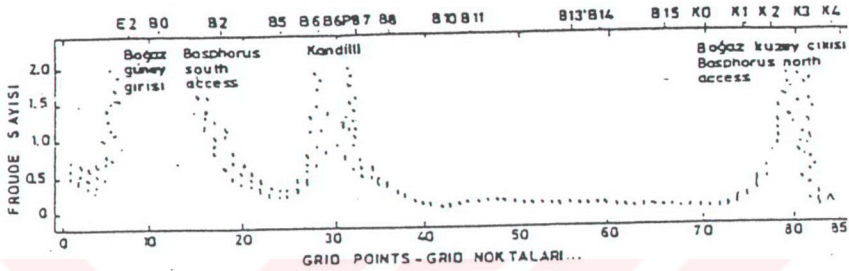
Şekil 4.20a. Karadeniz'de yağış ve su seviyesinin yıl içinde değişimi (İSKİ, 1997)



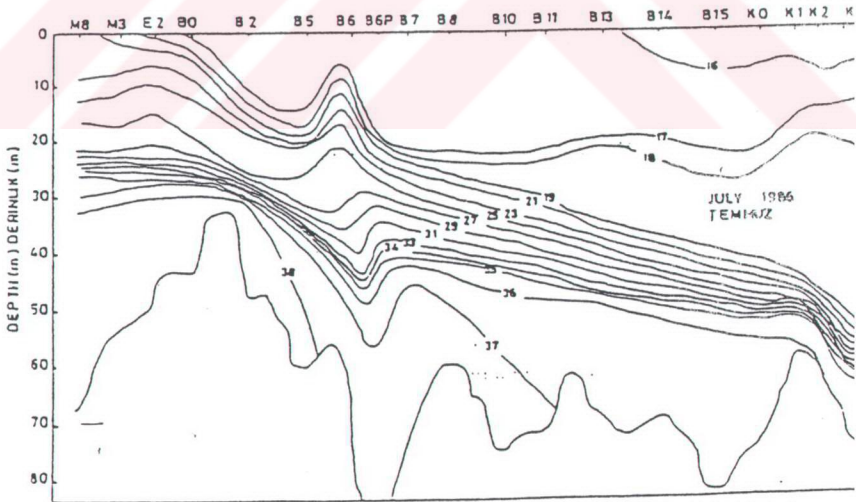
Şekil 4.20b. Karadeniz kıyılarında kar kalınlıkları ve su seviyesinin yıl içinde değişimi (İSKİ, 1997)



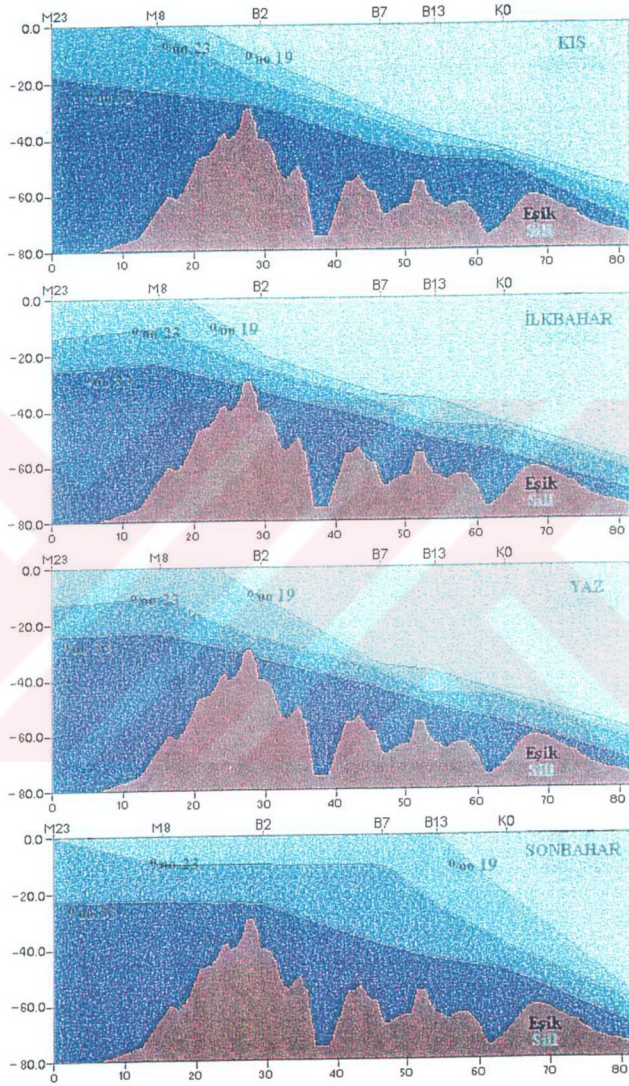
Şekil 4.20c. Karadeniz ve Marmara Denizi'nde aylık su seviyesi değişimleri (İSKİ, 1997)



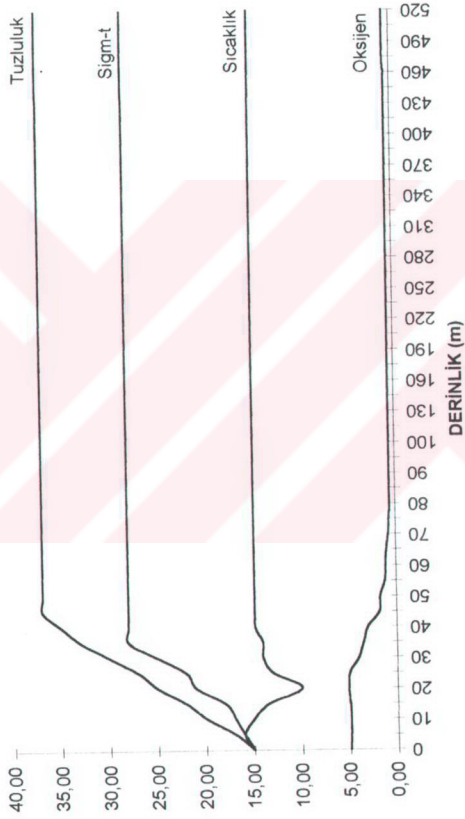
Şekil 4.21. Farklı net akım debileri için İstanbul Boğazı boyunca toplam Froude sayısı dağılımı (Oğuz v.d., 1990)



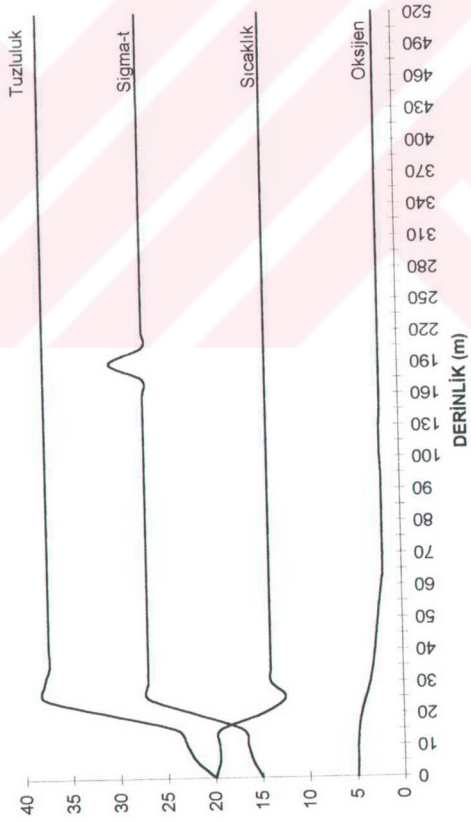
Şekil 4.22. İstanbul Boğazı'nda eş tuzluluk eğrileri (Oğuz v.d., 1990)



Şekil 4.23. Boğaz boyunca üst ve alt tabaka kalınlıklarının mevsimsel değişimleri (İSKİ, 1997)



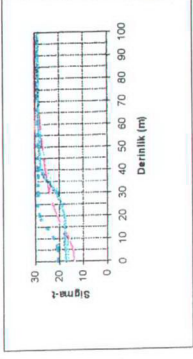
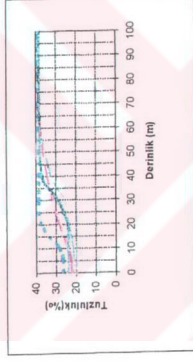
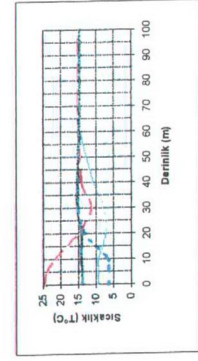
ŞEKİL 4.24a. Marmara Denizi'nde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişimi (Mayıs, 1991) (ISKİ, 1997)



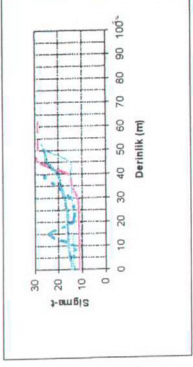
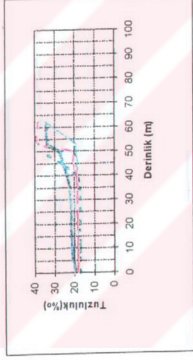
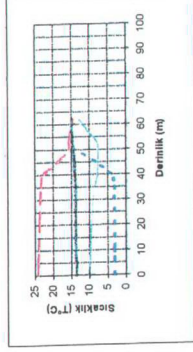
ŞEKİL 4.24b. Marmara Denizi'nde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişimi (Eylül, 1991) (ISKİ, 1997)



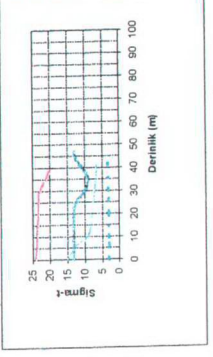
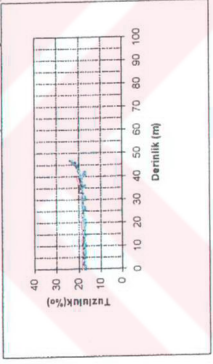
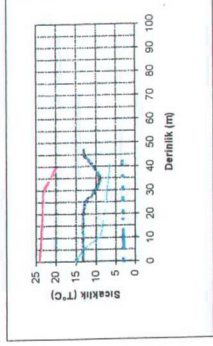
ŞEKİL 4.24c. Marmara Denizi'nde derinlik boyunca sıcaklık, tuzluluk ve yoğunluk değişimi (Aralık, 1991) (ISKİ, 1997)



Şekil 4.25a. Marmara Denizi'nde su sıcaklığının, tuzluluğun ve yoğunluğun derinlikle değişiminin mevsimsel karakteristikleri

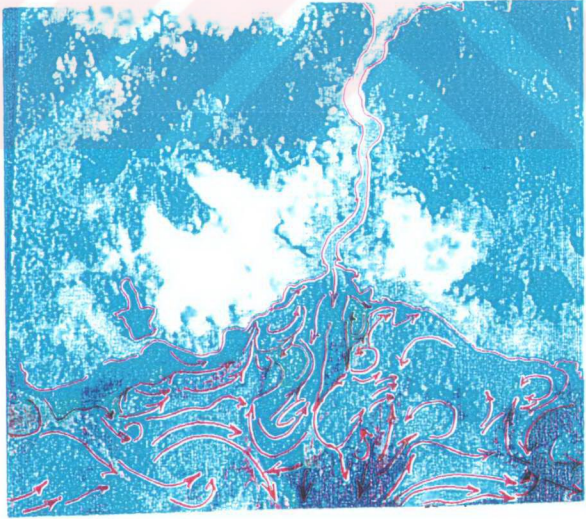
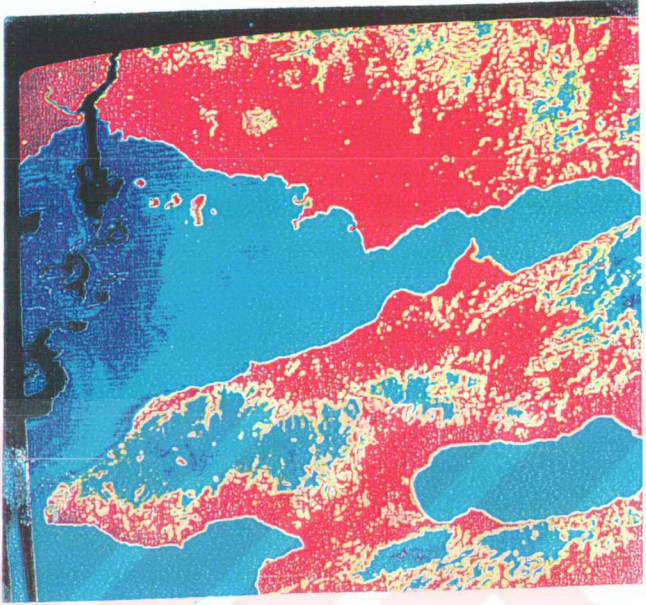


Şekil 4.25b. Boğaz'da su sıcaklığının, tuzluluğun ve yoğunluğun derinlikle değişiminin mevsimsel karakteristikleri



Şekil 4.25c. Karadeniz'de su sıcaklığının, tuzluluğun ve yoğunluğun derinlikle değişiminin mevsimsel karakteristikleri (İSKİ,1997)





Şekil 4.26. İstanbul Boğazı üst akımının Marmara Denizi'ne yayılımı
(Uydu termal görüntüsü) (İTÜ, 1993)

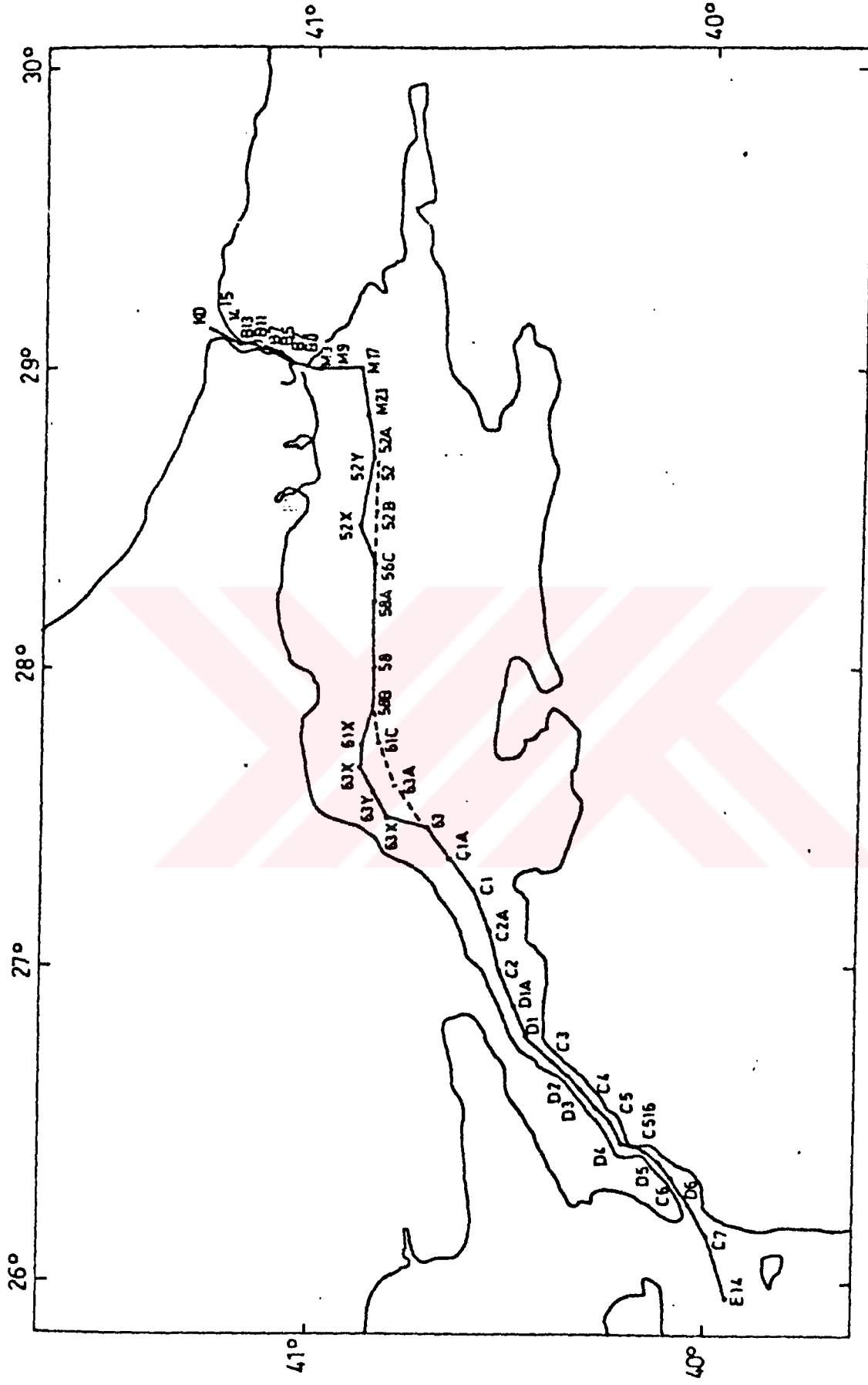
BMJ kesiminin üst tabakası ile kısmen piknoklin tabakasında Karadeniz'den gelen Boğaz yüzey akımı etkilidir. Ortalama 20000 m³/sn'lik bu akım 700 km²'lik BMJ üst tabakasını en az 4 günde yıkayabilmektedir. Buna karşılık yaklaşık 500 km²'lik alt tabakanın, ortalama 8000 m³/sn'lik akım ile Boğaz alt tabaksına geçişi için en az 40 gün gerekmektedir. Boğazdan gelen yüzey akımı, üst tabakayı üniform olarak yıkayamamakta, rüzgarın şiddetine ve etki gücüne de bağlı olarak güneyli yönlerde doğru itilmekte, bunun dışındaki Avrupa ve Asya kıyılarındaki ise durgun alanlar ve çevrıntiler oluşmaktadır (Şekil 4.26). Tuzla'nın dış kısımlarına kadar tüm doğu kıyıları boyunca 30 metre derinliğinde saat yönünün tersi yönünde çevrıntiler olduğu da gözlemlenmiştir (İSKİ, 1997).

4.4. İstanbul ve Çanakkale Boğazları'ndan Oluşan Türk Boğazlar Sistemi'ndeki Su Kütlesinde Debi ve Karışım Özellikleri

Özsoy v.d. (1987) tarafından Türk Boğazlar Sistemi'nin hidrodinamik özelliklerini incelemek amacıyla 1986 - 1987 yıllarında bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin yapıldığı oşinografik istasyonlar Şekil 4.27'de verilmiştir. Özsoy ve arkadaşları tarafından yapılan bu araştırmalar ışığında, Türk Boğazlar Sistemi'nde ortalama su alışverişini; su ve tuz bütçeleri yardımıyla kantitatif olarak veren bir kutu modeli oluşturulmuştur. Bu modelde, kutuların bağlantı bölümlerindeki ortalama tuzluluk değerleri 1986 ve 1987 yıllarında sırasıyla 13 ve 9 adetlik ölçüm sonuçlarının ortalamasıyla belirlenmiştir (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. Türk Boğazlar Sistemi'nde kesişim bölgelerindeki ortalama tuzluluk değerleri (‰) (Özsoy v.d., 1987).

BÖLGE	İstasyon	Üst Tabaka	Alt Tabaka	Yıl
Ege Denizi - Çanakkale Boğazı	D6	29.53	38.87	1986
		29.72	38.95	1987
		29.62	38.91	1986-1987
Çanakkale Boğazı - Marmara	D1	24.43	38.68	1986
		25.89	38.67	1987
		25.27	38.67	1986-1987
Marmara - İstanbul Boğazı	B2	18.95	36.68	1986
		19.89	36.71	1987
		19.38	36.69	1986-1987
İstanbul Boğazı - Karadeniz	K0	17.80	35.57	1986
		17.79	33.87	1987
		17.79	34.87	1986-1987



Şekil 4.27. Türk Boğazlar Sistemi'nde en uzun kesitteki oşinografik ölçüm istasyonları

Kutu modeline, 1986 yılı ortalama tuzluluk değerleri uygulanması halinde hesaplanmış olan ortalama su alışverişleri Şekil 4.28’de, aynı şekilde 1987 yılı ortalama tuzluluk değerlerinin kullanıldığı durumdaki ortalama su alışverişleri Şekil 4.29’da verilmiştir.

Hesaplarda, Karadeniz’e yıllık net tatlı su girdisi’nin 300 km³/yıl olduğu kabul edilmiştir (Özsoy, 1987).

Bu hesaplara göre; 1986 yılında ölçülen tuzluluk değerlerinin ortalamaları modele uygulanmış, ve Ege Denizi’nden sisteme giren su miktarının % 48’inin Çanakkale Boğazı’da üst akıma karışarak geri döndüğü, Marmara Denizi’ne giren alt tabaka sularının % 54’ünün ve İstanbul Boğazı’nda % 13’ünün üst akımla geri döndüğü, sonuçta Türk Boğazlar Sistemi’ne giren Akdeniz sularının ancak % 19’unun Karadeniz’e ulaşabildiği hesaplanmıştır. 1987 yılı ölçümlerine göreyse, Ege Denizi sularının % 40’ının Çanakkale Boğazı’nda, Marmara Denizi’ne giren kısmın % 60’ının ve İstanbul Boğazı’na giren kısmın da %27’sinin üst akıma karışarak geri döndüğü hesaplanmıştır. Bu durumda Ege Denizi’nden giren Akdeniz sularının ancak % 13’ü Karadeniz’e ulaşabilmektedir.

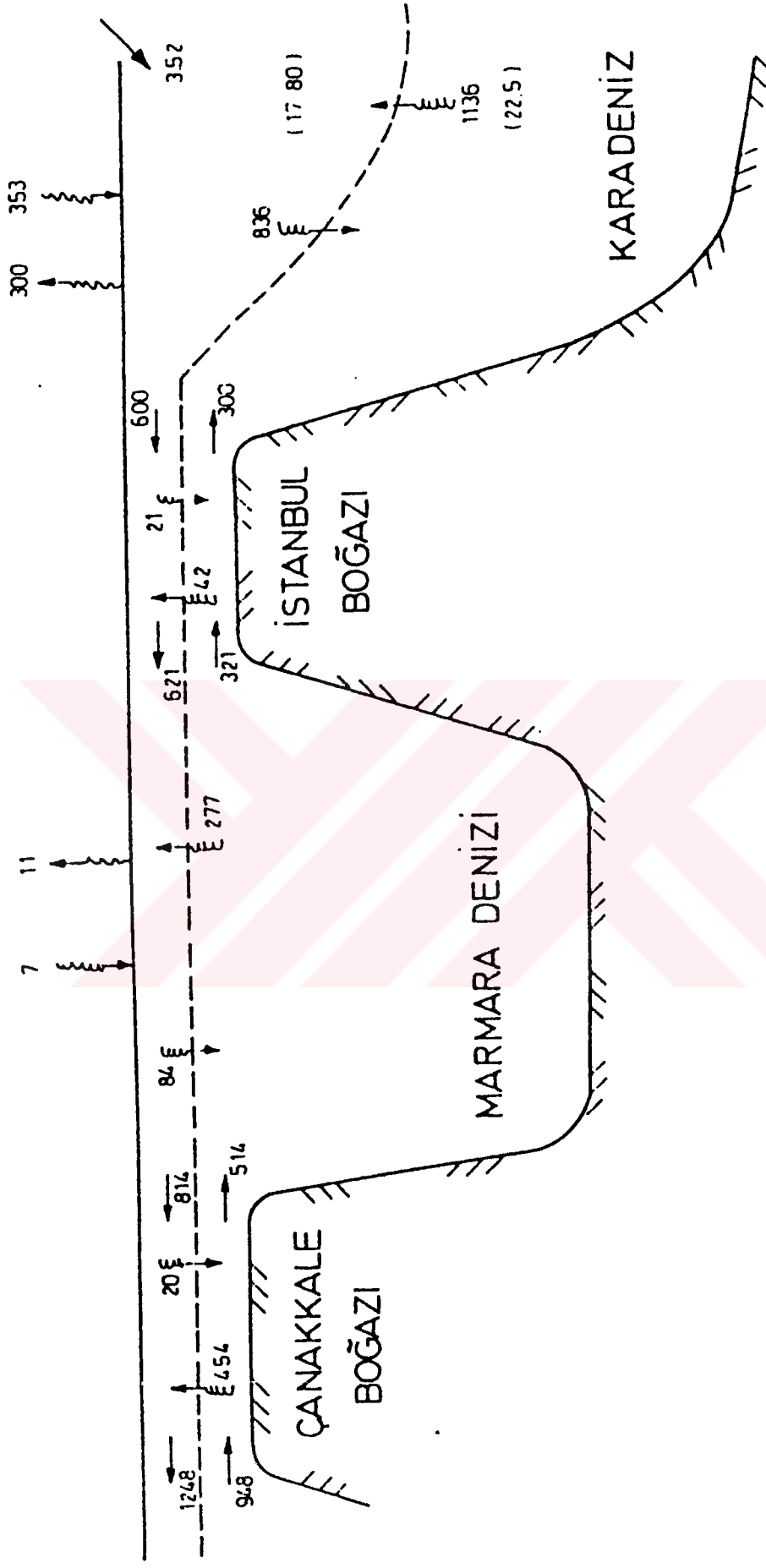
1986 ve 1987 yılı ölçümleri bir arada değerlendirilip, ortalama tuzluluk değerleri göz önüne alınırsa, Ege Denizi sularının % 43’ünün Çanakkale Boğazı’nda, Marmara’ya girdikten sonra % 58’inin ve İstanbul Boğazı’a girdikten sonra % 19’unun üst tabakaya karışarak geri döndüğü ortaya çıkar. Dolayısıyla, Akdeniz sularının ancak % 16’lık bir bölümü Karadeniz’e ulaşabilir. Bu durumdaki ortalama su alışverişleri Şekil 4.30’da gösterilmiştir.

Özsoy (1988), tüm bu hesaplar sonucunda, **Türk Boğazlar Sistemi’ne giren Akdeniz suyunun yaklaşık % 10 - 20’sinin Karadeniz’e ulaşabildiği ve üst tabaka karışımının en belirgin şekilde Çanakkale Boğazı ile Marmara Denizi’nde meydana geldiği sonucuna varmıştır.**

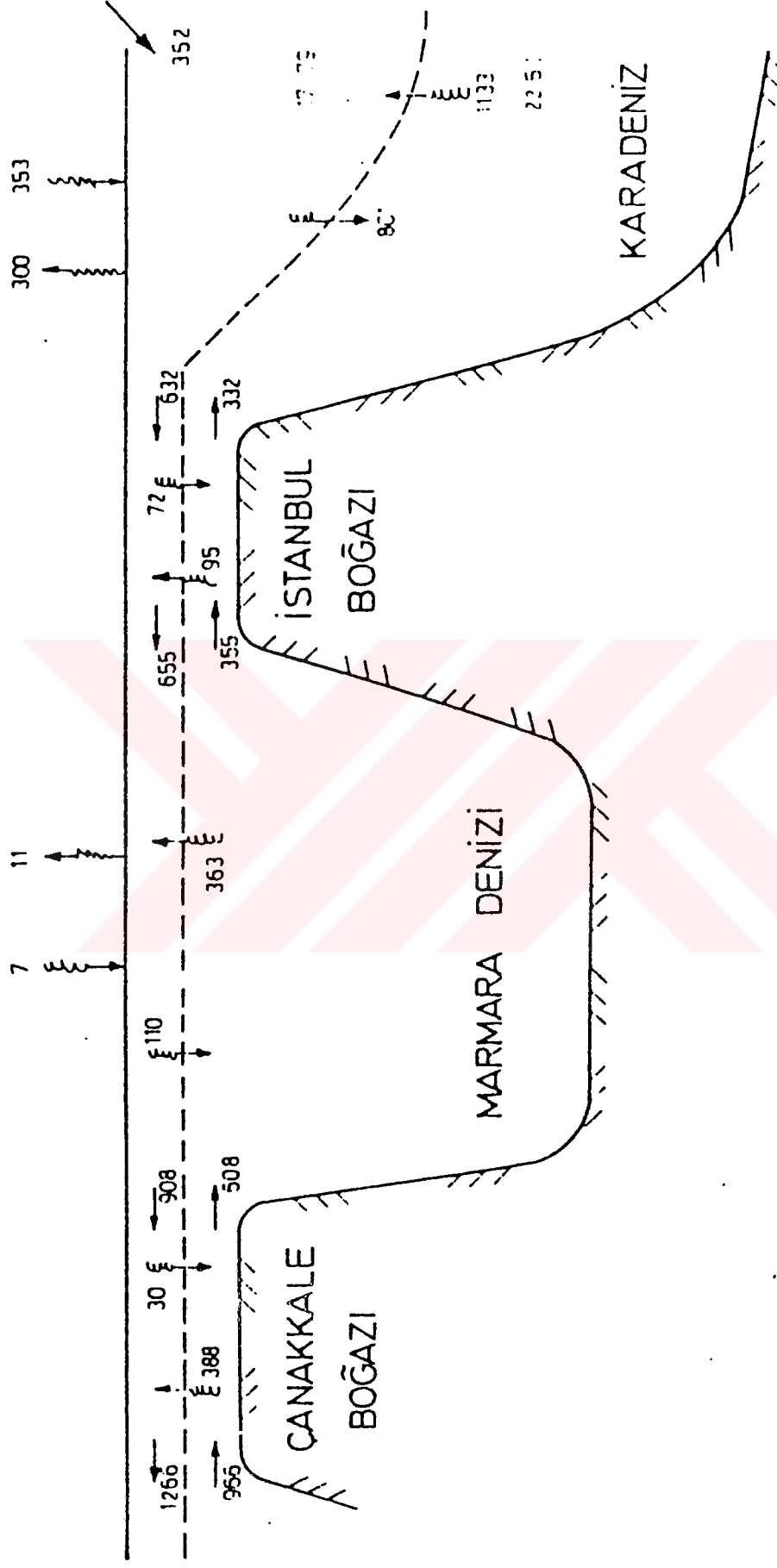
ÖEJV tarafından 1993 yılında gerçekleştirilen bir modelleme çalışması sonucunda ortaya sunulan Türk Boğazlar Sistemi akım düzeni Şekil 4.31’de verilmiştir. Bu duruma göreyse, Çanakkale Boğazı’ndan sisteme giren Akdeniz suyunun % 40’ı Marmara Denizi’ne % 22’si ise İstanbul Boğazı’na girdikten sonra üst akıntıya geçerek geri dönmektedir. Bu durumda

Karadeniz'e, Türk Boğazlar sistemine giren Akdeniz suyunun % 40'ı ulaşmaktadır. Bu değer 1986 ilâ 1987 yılları arasında Özsoy ve arkadaşlarının hesapladığından oldukça fazladır. Bunda ölçüm yapılan zaman diliminde hakim olan atmosferik koşulların ve ölçüm istasyonlarının konumunun etkisi olabilir. Zira ÖEJV'nin bulunduğu debiler Özsoy ve arkadaşlarınınkinden % 20 ilâ 50 arasında daha fazla çıkmaktadır.

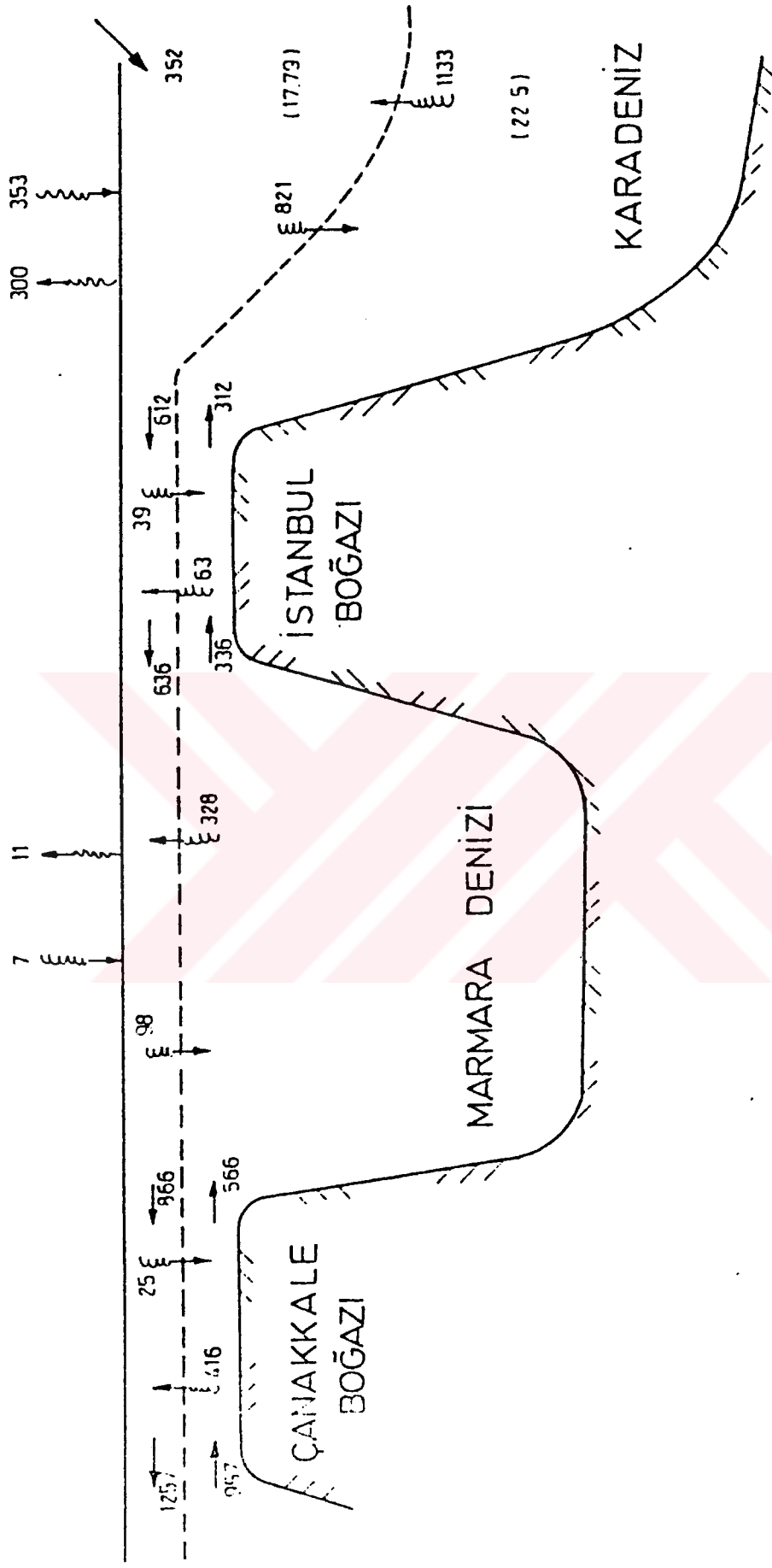




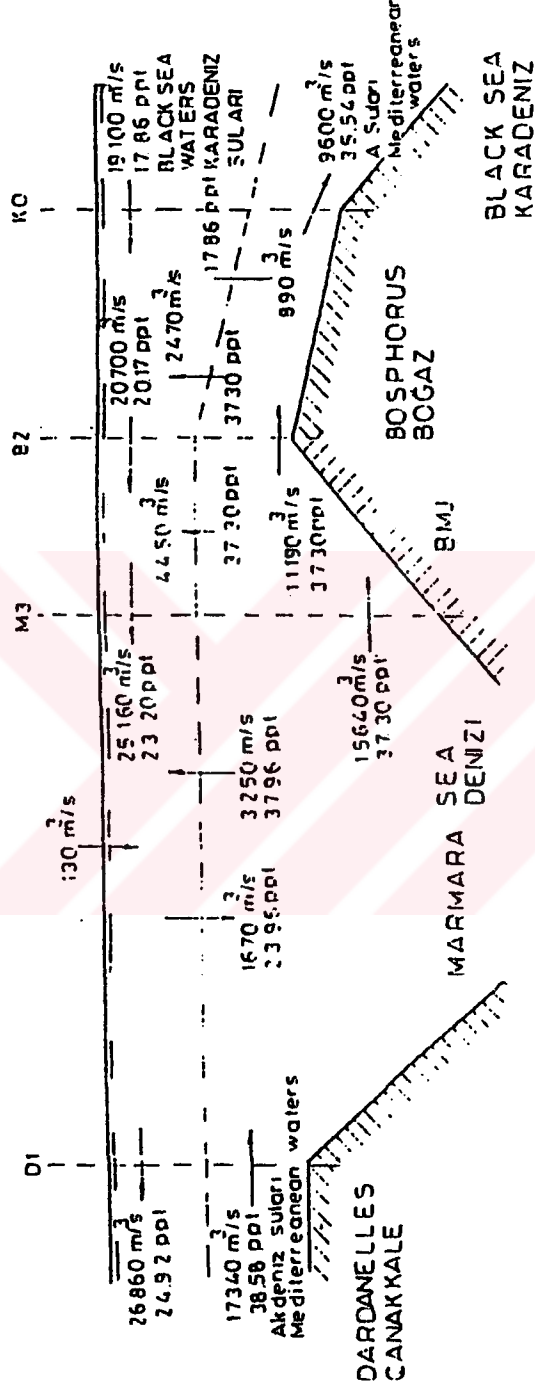
Şekil 4.28. 1986 yılı ortalama tuzluluk değerleri için Türk Boğazlar Sistemi'nde ortalama su alışverişleri (km³/yıl) (Meriç, 1990)



Şekil 4.29. 1987 yılı ortalama tuzluluk değerleri için Türk Boğazlar Sistemi'nde ortalama su alışverişleri (km³/yıl) (Meriç, 1990)



Şekil 4.30. 1986-1987 yıllarındaki tüm ölçümlerin ortalaması olan tuzluluk değerleri için Türk Boğazlar Sistemi'nde ortalama su alışverişleri ($\text{km}^3/\text{yıl}$) (Meriç, 1990)



Şekil 4.31. 1993 yılı Türk Boğazlar Sistemi akım düzeni (ÖEJV, 1993)

5. İSTANBUL BOĞAZI'NDAKİ SU AKINTILARININ DENİZ SUYU KİRLLENMESİNE ETKİLERİ

5. 1. Karadeniz ve İstanbul Metropoliten Alanından Kaynaklanan Evsel ve Endüstriyel Atıksuların Miktar ve Kirlilik Yükleri

Çok geniş bir drenaj havzasına sahip Karadeniz'in diğer denizlerle bağlantısını İstanbul Boğazı sağlar. Dolayısıyla bu denizin kirli suları Boğaz vasıtasıyla Marmara Denizi ve ordanda Çanakkale Boğazı'yla Akdeniz'e kadar ulaşır.

5.1.1. Karadeniz'den Marmara Denizi'ne taşınan suların kirlilik yükleri

Karadeniz'den Boğaz yönüne akan 45-50 metrelik su kolonunda kış aylarında düzenli olarak artan anorganik besin tuzları (nitrat+nitrit ve orto-fosfat) derişimlerinin, ilkbahar-sonbahar dönemini kapsayan aylarda 5-10 kez düştüğü gözlenmiştir. 1986-1992 dönemine ait yıllık ortalamalar nitrat-nitrit için $1.6 \pm 1.6 \mu\text{M}$ ($=\mu\text{mol/l}$), anorganik fosfat (ÇİP) için de $0.18 \pm 0.18 \mu\text{M}$ 'dir. Boğaz'da düzenli olarak çözünmüş amonyak ölçülmediğinden, Karadeniz'in güneybatı bölgesinde farklı gruplarca değişik zamanlarda toplanan sınırlı sayıdaki verilerden Boğaz üst akıntısının yıllık ortalama amonyak derişimi $0.5 \mu\text{M}$ (Polat ve Tuğrul, 1995) olarak kabul edilmiştir.

Boğaza giren Karadeniz sularında 1991-1992 yılları arasında mevsimsel sıklıkta yapılan partikül organik azot (PON) ve partikül fosfor (PP) ölçümlerine (Tablo 5.1) göre, mevsimsel olarak 1 - 5 μM arasında değişen PON derişimlerinin yıllık ortalaması 2.4 μM ve benzer mevsimsel salınımlar gösteren PP'nin yıllık ortalaması da 0.17 μM 'dir.

Karadeniz sularını Marmara'ya taşıyan Boğaz üst akıntısının içerdiği çözünmüş organik fosfor (ÇOP) konsantrasyonları, Tablo 5.2'de verilen toplam fosfor (TP) sonuçlarından (ÇİP+PP) değerlerinin çıkartılmasıyla hesaplanmıştır. Mevsimsel bulgulardan hesaplanan ortalama ÇOP konsantrasyonu 0.15 μM 'dir.

Tablo 5.1. İstanbul Boğazı'nın kuzey girişinde üst tabaka sularında Polat ve Tuğrul (1995) tarafından ölçülen kimyasal parametrelerin yıllık ortalama değerleri.

YILLAR	MEVSİMLER	PO ₄ (μM= μmol/l)	NO ₃ (μM= μmol/l)	POK (μM= μmol/l)	PON (μM= μmol/l)	PP (μM= μmol/l)	ÇOK (μM= μmol/l)
1	OCAK						
9	NİSAN	0,16	0,4				
8	TEMMUZ	0,4	0,8				
6	EYLÜL	0,1	0,6				
1	OCAK	0,6	4,5				194
9	NİSAN	0,3	2,5				169
8	TEMMUZ	0,03	0				182
7	EYLÜL	0,03	0				204
1	OCAK	0,16	1,6				186
9	NİSAN	0,1	1,3				196
8	TEMMUZ	0,2	0,4				198
8	EYLÜL	0,03	0,4				204
1	OCAK	0,36	1,9				174
9	NİSAN	0,34	0,6				174
8	TEMMUZ	0,04	0,3				194
9	EYLÜL	0,02	0				199
1	OCAK	0,03	8				
9	NİSAN	0,03	0,4				
9	TEMMUZ	0,2	0,5				
0	EYLÜL	0,03	0,4				
1	OCAK	0,4	3,4	32	4,4	0,19	187
9	NİSAN	0,18	4,9	37	4,7	0,39	187
9	TEMMUZ	0,04	0,7	17	2	0,09	187
1	EYLÜL	0,05	0,4	16	0,8	0,11	187
1	OCAK	0,4	7,7	15	1,3	0,13	189
9	NİSAN	0,1	0,4	20	2,1	0,2	206
9	TEMMUZ	0,2	0,5	17	2,1	0,09	203
2	EYLÜL	0,2	0,4	15	1,8	0,17	199
ORTALAMA DEĞER		0,18	1,6	21	2,4	0,17	191

Batı Karadeniz'in geniş ve sığ kıta sahanlığına nehirler ve doğrudan atıksular aracılığı ile fazla miktarlarda anorganik 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 μM 'lik ÇON konsantrasyonu (Polat ve Tuğrul, 1995) Boğaz üst akıntısı için yıllık ortalama değer olarak kabul edilmiştir.

Boğaz üst akıntısında ölçülen çözünmüş organik karbon (ÇOK) değerlerindeki mevsimsel değişim, anorganik besin elementlerinde 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 dönemini kapsayan yıllık ortalama ÇOK değeri 191 μM 'dir. Yalnızca 1991-1992 yılları arasında mevsimsel sıklıkla yapılan partikül organik karbon (POK) ölçümlerinin yıllık ortalaması 21 μM 'dir. Tablo 5.1'den anlaşılabileceği gibi, Karadeniz'de birincil üretimin arttığı mevsimlerde boğaz sularının gerek ÇOK gerekse POK derişimi artış göstermektedir; bu değişim aralıkları ise Boğaz üst akıntısıyla Marmara'ya taşınan organik maddenin ne kadarının bakterilerce kolayca parçalanabilir yapıda olduğu hakkında bilgi verebilir.

İstanbul Boğazı yoluyla Marmara'ya doğru akan Karadeniz yüzey sularının içerdikleri besin tuzları ve organik karbon derişimlerinin yıllık ortalamaları Tablo 5.2'de sıralanmıştır. Görüldüğü gibi, 0.50 μM 'lik TP yıllık ortalamasını meydana getiren fosfor bileşenlerinin derişimleri karşılaştırılabilir seviyelerde iken, 22.5 μM 'lik toplam azotun (TN) en önemli bileşenini ÇON oluşturmaktadır. Bunun nedeni de Boğaz'a giren Karadeniz suyundaki ÇON'un önemli bir oranının bakteriyel parçalanmaya karşı dirençli ve karasal kaynaklı organik madde yapısında bulunmasıdır (Polat ve Tuğrul, 1995).

Tablodan da anlaşılaacağı gibi, Karadeniz'den Marmara'ya giren az tuzlu sular, Marmara alt sularına kıyasla daha fazla POK, ÇOK ve organik azot içermektedirler. Marmara suları ise anorganik besin tuzlarınca (orto-fosfat ve nitrat) zengindir.

TABLO 5.2. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz girişinde üst su tabakasına, Marmara girişinde ise tuzlu alt su tabakasına ait yıllık ortalama anorganik ve organik madde derişimleri, ($\mu\text{M}=\mu\text{mol/l}$) (Polat ve Tuğrul, 1995).

Parametre	Karadeniz - Üst	Marmara - Alt
ÇIP ($\text{PO}_4\text{-P}$)	0.18	1.01
PP	0.17	0.05
ÇOP	0.15	0.05
TP	0.50	1.11
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.50	0.20
$\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$	1.60	9.50
ÇIN' ($\text{NH}_4+\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}$)	2.10	9.70
PON	2.40	0.40
ÇON	18.00	3.00
TN	22.50	13.10
ÇOK	191.00	73.00
POK	21.00	5.20
TOK	212.00	78.20

5. 1. 2. İstanbul metropoliten alanından kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıksuların miktar ve kirlilik yükleri

İstanbul metropoliten alanı atıksu oluşum bölgesi açısından 11 kısma ayrılabilir. Bunlar atıksularını deşarj ettikleri noktalara göre :

1) İstanbul Boğazı'na atıksu deşarj eden bölgeler : Baltalımanı, Üsküdar, Küçüksu, Tarabya ve Paşabahçe

11) İstanbul Boğazı - Marmara Denizi çıkışı'na atıksu deşarj eden bölgeler : Kadıköy ve Yenikapı

iii) İstanbul Boğazı'nın Marmara Denizi'yle karıştığı bölge dışında Marmara Denizi'ne atıksu deşarjı yapılan bölgeler : Ataköy - Küçükçekmece, Büyükçekmece, Tuzla ve Adalar

5.1.2.1. İstanbul metropol alanındaki nüfus

İstanbul Metropolü'nde 1990 yılına kadar yapılan sayımlar Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Yıllara göre nüfus sayımları ve çoğalma nispeti

YIL	Nüfus	Çoğalma Nispeti (%)
1955	1.268.771	2.9
1960	1.446.535	3.5
1965	1.742.978	4.1
1970	2.132.407	3.6
1975	2.547.364	1.7
1980	2.772.708	14.6
1985	5.475.982	3.9
1990	6.620.241	
ORTALAMA		4.9

Bu güne kadar yapılmış sayımlardan İstanbul nüfusuna her sene 400.000 kişinin katıldığı sonucu çıkmaktadır. Buda orta büyüklükteki bir Anadolu kenti nüfusuna eşdeğerdir.

İstanbul Metropolitan alanı 11 adet havzaya ayrılabilir. Bu havzaların tahmini nüfusları Tablo 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Havzalara göre İstanbul metropoliten alanının tahmini nüfusları

SIRA NO	HAVZA ADI	TAHMİNİ NÜFUS		
		1990 Yılı	2000 Yılı	2020 Yılı
1	Balta Limanı	1.177.000	2.311.000	3.560.000
2	Yenikapı	1.744.000	3.425.000	5.270.000
3	Kadıköy	1.220.000	2.400.000	3.690.000
4	Üsküdar	122.000	240.000	370.000
5	Küçüksu	185.000	365.000	560.000
6	Tarabya	114.000	225.000	345.000
7	Paşabahçe	96.000	190.000	290.000
8	Tuzla	550.000	1.080.000	1.670.000
9	Küçükçekmece - Ataköy	1.100.000	2.200.000	3.350.000
10	Büyükçekmece	256.000	502.000	774.000
11	Adalar	62.000	63.000	63.000
	TOPLAM	6.626.000	13.000.000	19.942.000

5.1.2.2. Evsel ve endüstriyel atıksu miktarları ve kirlilik yükleri

Yıldız Teknik Üniversitesi'nce İstanbul kanalizasyon suyundan alınan numunelerde yapılan analizlerde bulunan kirlilik konsantrasyonları Tablo 5.5'de verilmiştir. Ayrıca kanala deşarj yapan endüstriler içinde İSKİ kanala deşarj standardı kabul edilerek, endüstriyel atıksu kirlilik konsantrasyonları da aynı tablo da verilmiştir.

Tablo 5.5. İstanbul evsel ve endüstriyel atıksuyundaki kirletici madde konsantrasyonları

Parametre	Evsel Atıksu (mg/l)	Endüstriyel Atıksu (İSKİ Kanala Deşarj Yönetmeliği) (mg/l)
BOİ ₅	250	250
AKM	270	350
Toplam N	42	30
Toplam P	8	8

İstanbul için evsel ve endüstriyel atıksu miktarının hesabında İstanbul metropolüne verilen günlük su miktarı önemli bir kılavuz olacaktır. Buna göre İSKİ'nin Melen projesi için yaptığı su hesabı Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. İstanbul'un nüfus ve su ihtiyacı tablosu (İSKİ, 1996)

Yıllar	Nüfus	Evsel Su İhtiyacı		Sanayii Su İhtiyacı		Toplam Su İhtiyacı		
		En Gayri Mûsaid Hal		Normal Talep				
	milyon	m ³ /gün	x10 ⁶ m ³ /yıl	m ³ /gün	x10 ⁶ m ³ /yıl	m ³ /gün	x10 ⁶ m ³ /yıl	x10 ⁶ m ³ /yıl
1990	7	1.750.000	640	340.000	120	2.090.000	760	522
2000	13	3.250.000	1.190	450.000	160	3.700.000	1.350	1.099
2020	20	5.000.000	1.825	520.000	190	5.520.000	2.015	1.850

Değişik kaynaklardan toplanan bilgiler ışığında İstanbul metropoliten alanından kaynaklanan atıksu miktarı ve kirlilik yüklerinin 1990 ve 2020 yılları için belirlenmesiyle ilgili yaptığı hesaplar Tablo 5.7, Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5-7 İstanbul metropoliten alanından kaynaklanan atıksu miktarları ve kirlilik yükleri (1990 yılı için)

BÖLGE	ATIKSU DEBİSİ			BOİ ₅		AKM		Toplam N		T - P	
	m ³ /gün	m ³ /sn	%	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%
1. Kadıköy	370 000	4.28	18.5	92.5	18.5	99.9	18.58	15.5	18.4	3.0	18.8
2. Yenikapı	524 000	6.06	26.2	131.0	26.2	141.5	26.32	22.0	26.2	4.2	26.3
3. Beşiktaş	355 000	4.10	17.8	88.8	17.8	95.9	17.84	14.9	17.7	2.8	17.5
4. K.çekmece - Ataköy	330 000	3.81	16.5	82.5	16.5	89.1	16.57	13.9	16.5	2.6	16.3
5. Tuzla	165 000	1.90	8.3	41.3	8.3	44.6	8.30	6.9	8.2	1.3	8.1
6. Büyükçekmece	80 000	0.93	4.0	20.0	4.0	21.6	4.02	3.4	4.1	0.6	3.8
7. Üsküdar	37 000	0.43	1.9	9.3	1.9	10.0	1.86	1.6	1.9	0.3	1.9
8. Küçüksu	56 000	0.65	2.8	14.0	2.8	15.1	2.81	2.4	2.9	0.5	3.1
9. Tarabya	35 000	0.40	1.8	8.8	1.8	9.5	1.77	1.5	1.8	0.3	1.9
10. Adalar	14 000	0.16	0.7	3.5	0.7	3.8	0.71	0.6	0.7	0.1	0.6
11. Paşabahçe	29 000	0.34	1.5	7.3	1.5	7.8	1.45	1.2	1.4	0.2	1.3
TOPLAM	2 000 000	23.15	100	499.0	100	538.8	100	83.9	100	16.0	100

Tablo 5-8 İstanbul metropoliten alanından kaynaklanan atık su miktarları ve kirlilik yüklerinin bölgelere göre dağılımı (1990 Yılı İçin)

BÖLGE	Atıksu Debisi		BOİ ₅		AKM		TKM		T - P	
	m ³ /gün	m ³ /sn	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%
a) Boğaz Bölgesi										
3. Baltalımanı	355 000	4.10	88.8		95.9		14.9		2.8	
7. Üsküdar	37 000	0.43	9.30		10.0		1.6		0.3	
8. Küçüksu	56 000	0.65	14.0		15.1		2.4		0.5	
9. Tarabya	35 000	0.40	8.8		9.5		1.5		0.3	
11. Paşabahçe	29 000	0.34	7.3		7.8		1.2		0.2	
TOPLAM	512 000	5.92	128.2	25.6	138.3	25.7	21.6	25.7	4.1	25.6
b) Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi (Geçiş Bölgesi)										
1. Kadıköy	370 000	4.28	92.5		99.9		15.5		3.0	
2. Yenikapı	524 000	6.06	131.0		141.5		22.0		4.2	
TOPLAM	894 000	10.34	223.5	44.7	241.4	44.9	37.5	44.6	7.2	45
c) Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi Dışı										
4. K.çek-Ataköy	330 000	3.81	82.5		89.1		13.9		2.6	
5. Tuzla	165 000	1.90	41.3		44.6		6.9		1.3	
6. B. çekmece	80 000	0.93	20.0		21.6		3.4		0.6	
10. Adalar	14 000	0.16	3.5		3.8		0.6		0.1	
TOPLAM	589 000	6.80	147.3	29.5	159.1	29.6	24.8	29.5	4.6	28.8
GENEL TOPLAM	2 000 000	23.15	499.0	100	538.8	100	83.9	100	16.0	100

Tablo 5-9 İstanbul metropoliten alanından kaynaklanan atıksu miktarları ve kirlilik yükleri (2020 Yılı İçin)

BÖLGE	ATIKSU DEBİSİ			BOİ ₅		AKM		Toplam N		T - P	
	m ³ /gün	m ³ /sn	%	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%
1. Kadıköy	1 015 000	11.7	18.5	253.8	18.5	274.1	18.5	42.6	18.5	8.1	18.5
2. Yenikapı	1 450 000	16.8	26.4	362.5	26.5	391.5	26.4	60.9	26.4	11.6	26.4
3. Baltalıman	980 000	11.3	17.8	245.0	17.9	264.6	17.9	41.2	17.9	7.8	17.8
4. K.çekmece - Ataköy	922 000	10.7	16.8	230.5	16.8	248.9	16.8	38.7	16.8	7.4	16.9
5. Tuzla	460 000	5.3	8.4	115.0	8.4	124.2	8.4	19.3	8.4	3.7	8.4
6. Büyükçekmece	213 000	2.5	3.9	53.3	3.9	57.5	3.9	8.9	3.9	1.7	3.9
7. Üsküdar	102 000	1.2	1.9	25.5	1.8	27.5	1.9	4.3	1.9	0.8	1.8
8. Küçüksu	154 000	1.8	2.8	38.5	2.8	41.6	2.8	6.5	2.8	1.2	2.7
9. Tarabya	95 000	1.1	1.7	23.8	1.6	25.7	1.7	4.0	1.7	0.8	1.8
10. Adalar	18 000	0.2	0.3	4.5	0.3	4.9	0.3	0.8	0.3	0.2	0.4
11. Paşabahçe	80 000	0.9	1.5	20.0	1.5	21.6	1.4	3.4	1.4	0.6	1.4
TOPLAM	5 489 000	63.5	100.0	1 372.4	100.0	1 482.1	100.0	230.6	100.0	43.9	100.0

Tablo 5-10 İstanbul metropoliten alanından kaynaklanan atık su miktarları ve kirlilik yüklerinin bölgelere göre dağılımı (2020 Yılı İçin)

BÖLGE	Atıksu Debisi		BOİ ₅		AKM		TKM		T - P	
	m ³ /gün	m ³ /sn	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%	ton/gün	%
a) Boğaz Bölgesi										
3. Baltalimanı	980 000	11.3	245.0		264.6		41.2		7.8	
7. Üsküdar	102 000	1.2	25.5		27.5		4.3		0.8	
8. Küçüksu	154 000	1.8	38.5		41.6		6.5		1.2	
9. Tarabya	95 000	1.1	23.8		25.7		4.0		0.8	
11. Paşbahçe	80 000	0.9	20.0		21.6		3.4		0.6	
TOPLAM	1 411 000	16.3	352.8	25.8	381.0	26.3	59.4	26.1	11.2	25.5
b) Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi (Geçiş Bölgesi)										
1. Kadıköy	1 015 000	11.7	253.8		274.1		42.6		8.1	
2. Yenikapı	1 450 000	16.8	362.5		391.5		60.9		11.6	
TOPLAM	2 465 000	28.5	616.3	45.0	665.6	44.6	103.5	44.5	19.7	44.9
c) Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi Dışı										
4. K.çek - Ataköy	922 000	10.7	230.5		248.9		38.7		7.4	
5. Tuzla	460 000	5.3	115.0		124.2		19.3		3.7	
6. Büyükçekmece	213 000	2.5	53.3		57.5		8.9		1.7	
10. Adalar	18 000	0.2	4.5		4.9		0.8		0.2	
TOPLAM	1 613 000	18.7	403.3	29.2	435.5	29.1	67.7	29.4	13.0	29.6
GENEL TOPLAM	5 489 000	63.5	1 372.4	100	1 482.1	100	230.6	100	43.9	100

Atıksu oluşumu ve kirlilik yüklerinin oşinografik bölgelere göre dağılımı hakkında şu sonuçlara varılabilir :

- . En fazla atıksu Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi'nden
(1990 yılı için % 45; 2020 yılı için % 45)
- . En fazla BOI₅ yükü Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi dışından
(1990 yılı için % 45; 2020 yılı için % 45)
- . En fazla AKM yükü Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi dışından
(1990 yılı için % 45; 2020 yılı için % 45)
- . En fazla TKN yükü Boğaz Marmara Karışım Bölgesi dışından
(1990 yılı için % 45; 2020 yılı için % 45)
- . En fazla T-P yükü Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi'nden
(1990 yılı için % 45; 2020 yılı için % 45)

Bu dağılıma göre Boğaz - Marmara Karışım Bölgesi Dışı olarak adlandırılan bölgenin kirlilik yükleri fazladır. Karışım bölgesine göre çok daha az seyreltme kapasitesi olması bakımından bu nokta en kritik bölgeyi oluşturmaktadır. Zira Boğaz çıkışında ani genişlemeden dolayı hız düşüşü de gerçekleşmektedir.

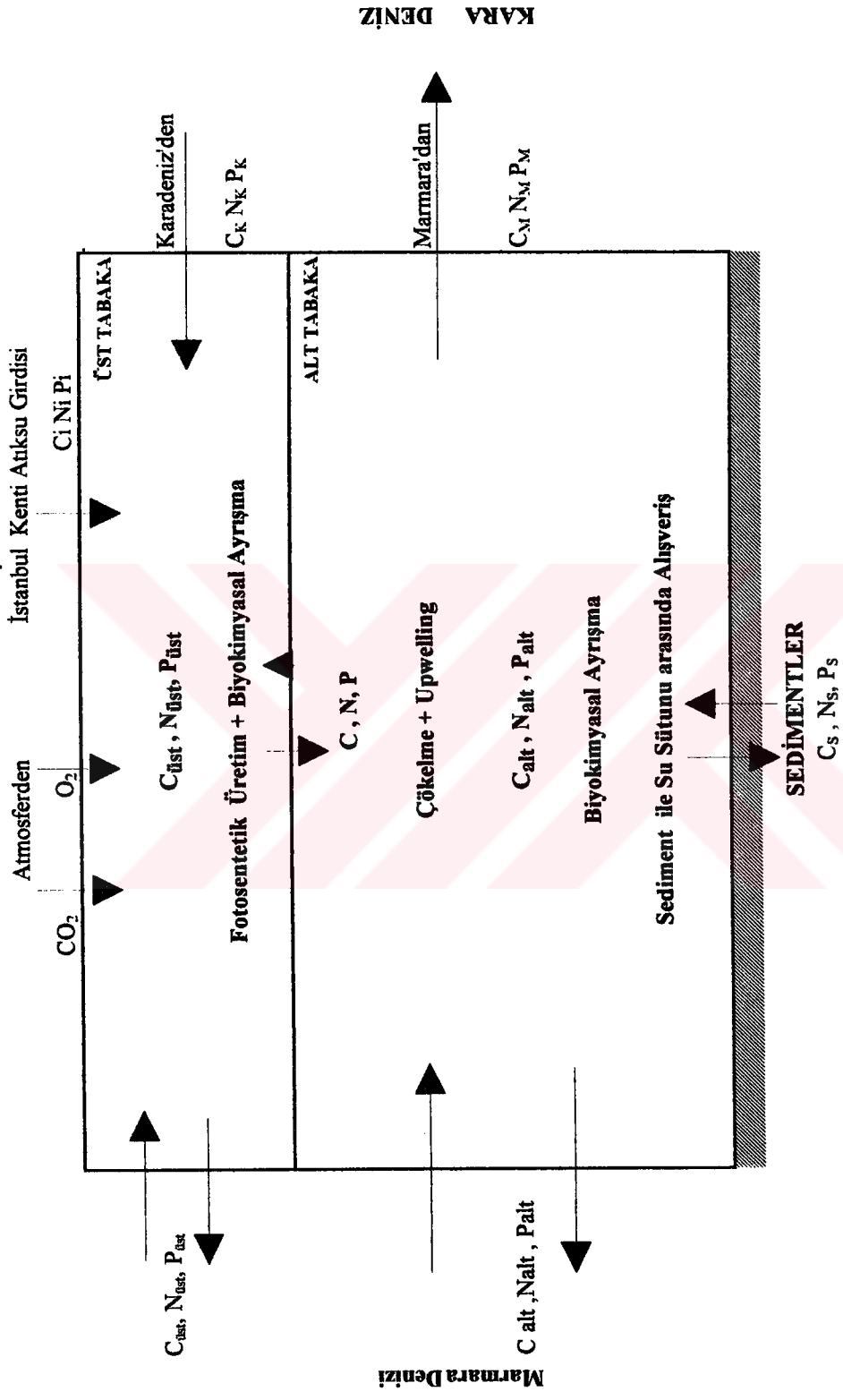
5.2. İstanbul Boğazı ve Çevresinde Deniz Suyu Kirlenmesine Akıntıların Etkileri Üzerine Yapılan Çalışmalar

Boğaz ve çevresinde kirlilik boyutunun belirlenebilmesi için öncelikle önemli bir çevresel etki olan çözülmüş oksijen eksikliğinin ve dolayısıyla da buna sebep olan karbonlu maddeler, azot ve fosfor girdilerinin tayini yapılmalıdır.

Karbonlu maddeler alıcı ortamda bakteriolojik faaliyetler sonucunda parçalanırken oksijen tüketimine sebep olmaktadır. Azot ve fosfor ise biyolojik üretimi arttırmakta, fotosentez yoluyla üretilen bu organik maddelerin, ikincil kademe bakteriler tarafından tekrar ayrıştırılması sırasında oksijen tüketimi gerçekleşmektedir. Boğaz ve Boğaz/Marmara birleşim bölgesinde bu maddelerin girdi ve çıktı yörüngeleri Şekil 5.1’de verilmiştir. Bu şekle göre sistemin girdi ve çıktıları :

- 1) Karbon, azot ve fosfor, Karadeniz’den Boğaz üst akıntısı ile Marmara Denizi’ne, Marmara’dan alt akıntı ile Karadeniz’e girmektedir.
- ii) Geçiş bölgesi ile Marmara’nın diğer kesimleri arasında Marmara Denizi iç akıntılarıyla dispersiyondan kaynaklanan karbon, azot ve fosfor alışverişleri mevcuttur.
- iii) Dip sedimentleriyle su sütunu arasında çökme ve sedimentten tekrar su sütununa geçiş nedeniyle karbon, azot ve fosfor alışverişleri vardır.
- iv) Deniz - atmosfer arayüzeyi, bu yüzeydeki konsantrasyon gradyanına bağımlı olarak karbon ve azot geçişine açıktır. Atmosferden karbon CO_2 , azot ise moleküler azot N_2 şeklinde deniz ortamına geçebildiği gibi, aerobik veya anaerobik ayrışma sonucunda karbon CO_2 veya CH_4 şekillerinde, azot ise yine N_2 şekillerinde denizden atmosfere transfer edilebilir.
- v) Tüm bu taşınım proseslerinin dışında İstanbul Metropolü’nden kaynaklanan atıksuların içerdiği kirlenici yükler bölgeye büyük boyutlarda ek bir azot, fosfor ve karbon girdisi sağlamaktadır.

Geçiş Bölgesi +İstanbul Boğazı



Şekil 5.1. İstanbul Boğazı ve Boğaz/Marmara geçiş bölgesinde karbon, azot, fosfor ve oksijen konsantrasyonlarını belirleyici ana mekanizmalar

Ayrıca, bu taşınım prosesleri dışında ortamda alt ve üst tabakalarda bazı fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal prosesler gerçekleşmektedir. Üst tabakada madde konsantrasyonlarını belirleyen dört ana proses mevcuttur :

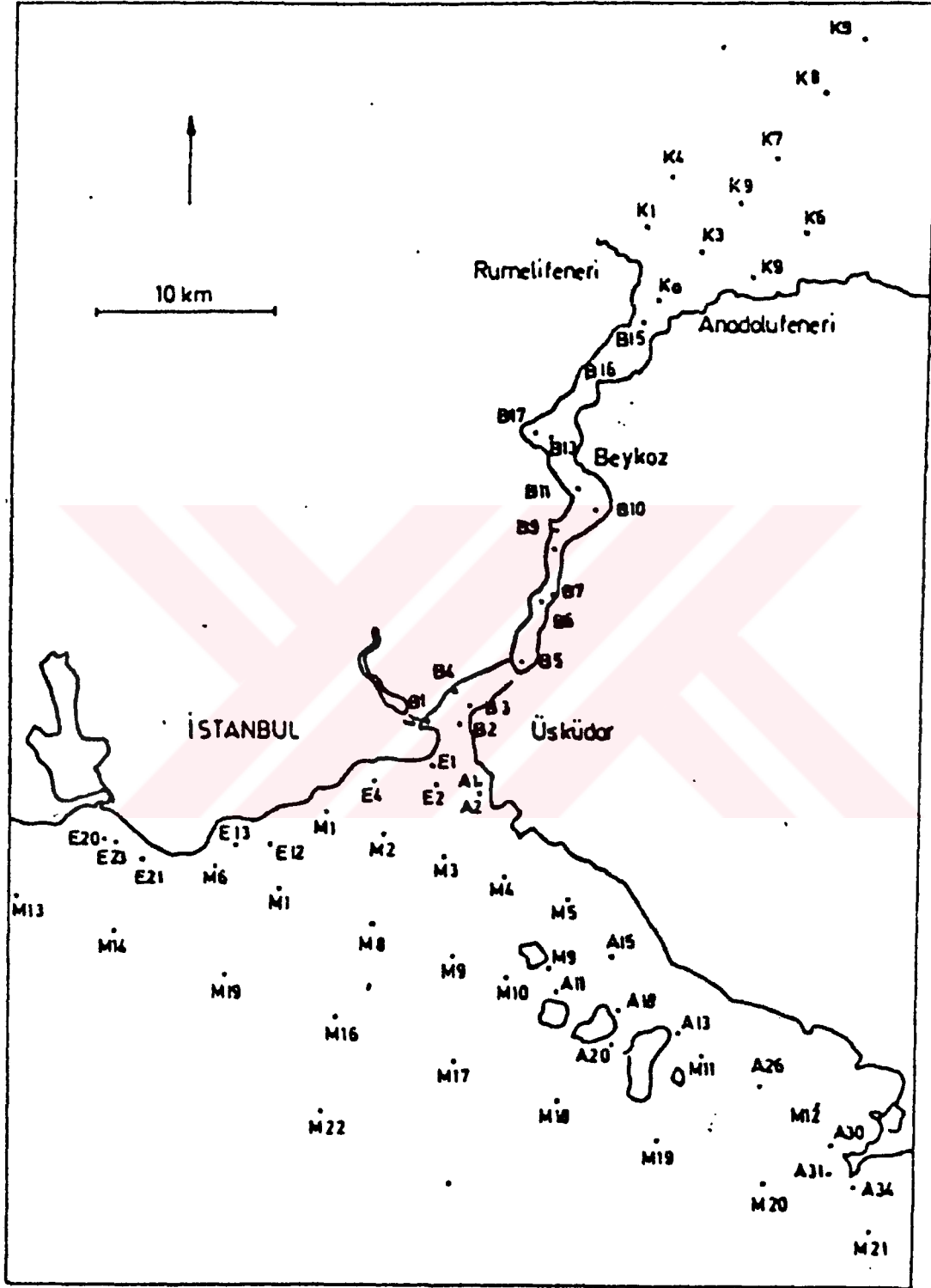
- a) Azot, fosforun ve güneş ışığının varlığıyla gerçekleşen ve atmosferden temin edilen karbondioksitin organik maddeye dönüşmesini sağlayan fotosentez prosesi,
- b) Sistem dışından atıksularla ve akıntılarla gelen ve sistemde oluşan karbonlu organik maddelerin oksijen tüketilerek gerçekleştirilen ayrışma prosesleri,
- c) Sistem dışından gelen ve sistemde oluşan partiküler maddelerin üst tabakadan alt tabakaya çökme prosesleri,
- d) Sistemde yoğunluk değişimleri ve rüzgar etkileriyle oluşan upwelling prosesleri.

Alt tabakada ise, genellikle karbonlu organik maddenin oksijenli ortamda tüketildiği prosesler gerçekleşmekte ve bu nedenle oksijen tüketimi olmaktadır. Oksijen konsantrasyonlarının sıfır düştüğü durumlarda anaerobik ayrışma meydana gelmektedir.

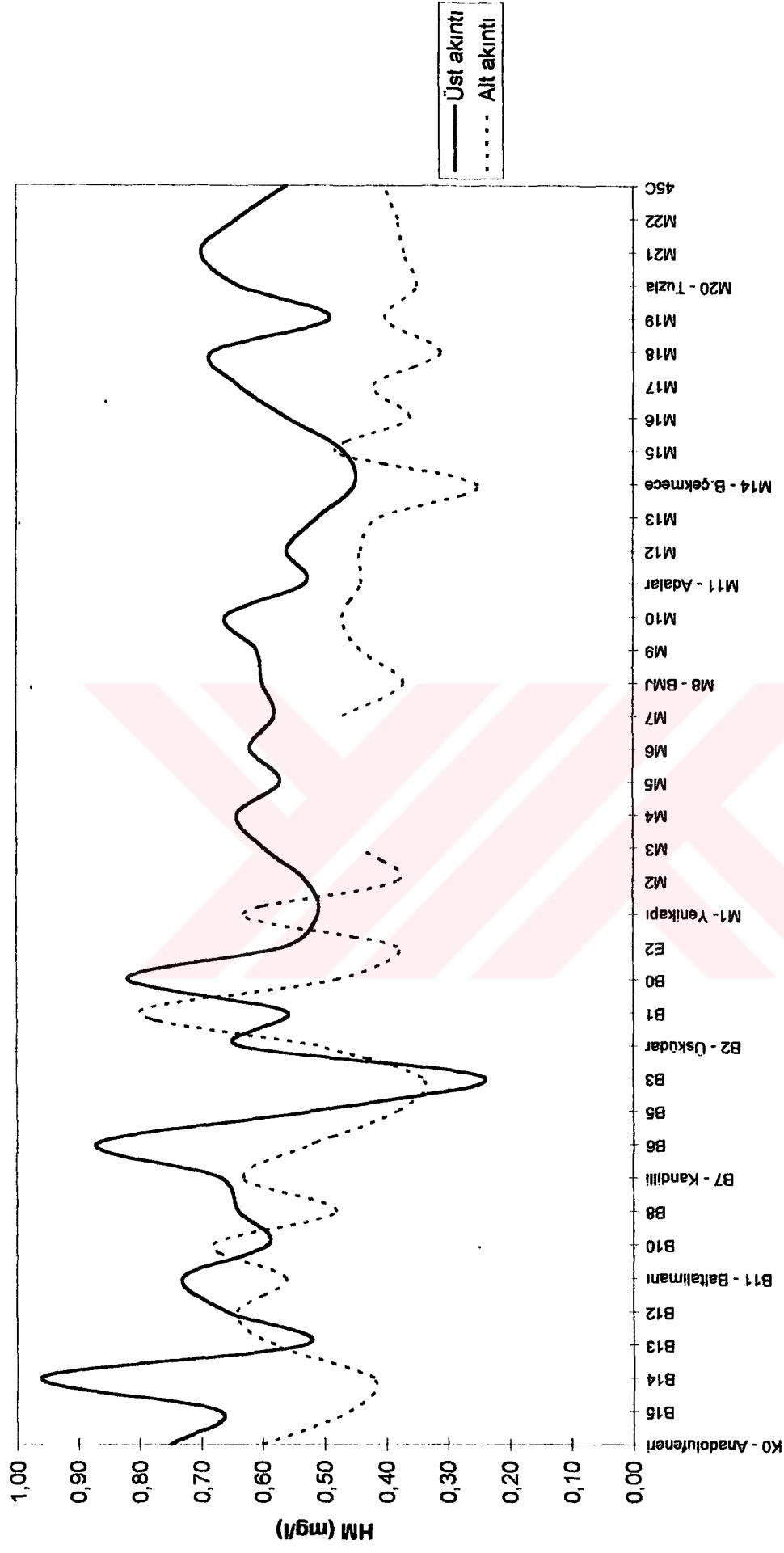
Yapılan araştırmaların sonucunda, Marmara Denizi'nin kış mevsimi boyunca Karadeniz'den gelen bazı besin maddeleri ile zenginleştiği, buna karşın, Nisan - Temmuz ayları arasında Karadeniz'de birincil üretime bağlı olarak Marmara'ya fosfor girişinin azaldığı ortaya çıkmaktadır.

1986 - 1997 yılları arasında çeşitli araştırmacılar tarafından alt ve üst akımlar için ölçümlerin yapıldığı noktalar Şekil 5.2'de verilmiştir. ODTÜ tarafından 1987, 1988 ve 1989 yıllarında bu istasyonlarda yapılan ölçümlerin sonuçları Ek 1'de verilmiştir.

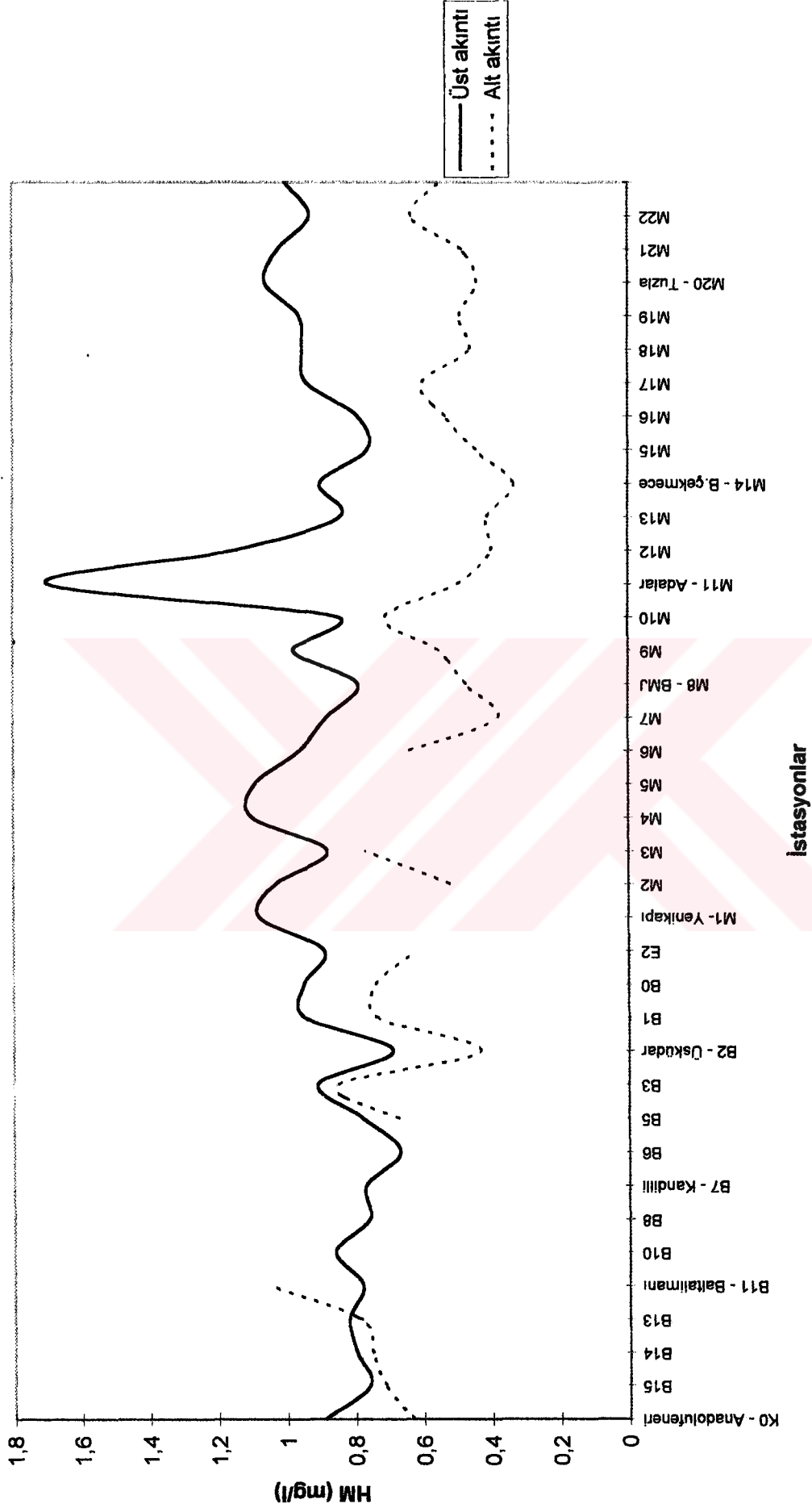
Buna göre, Boğaz boyunca üst ve alt tabakalardaki humik madde, fosfor, azot klorofil-a ve toplam organik karbonun ortalama değerlerin yıllara göre değişimi Şekil 5.3 - 5.17'de verilmiştir.



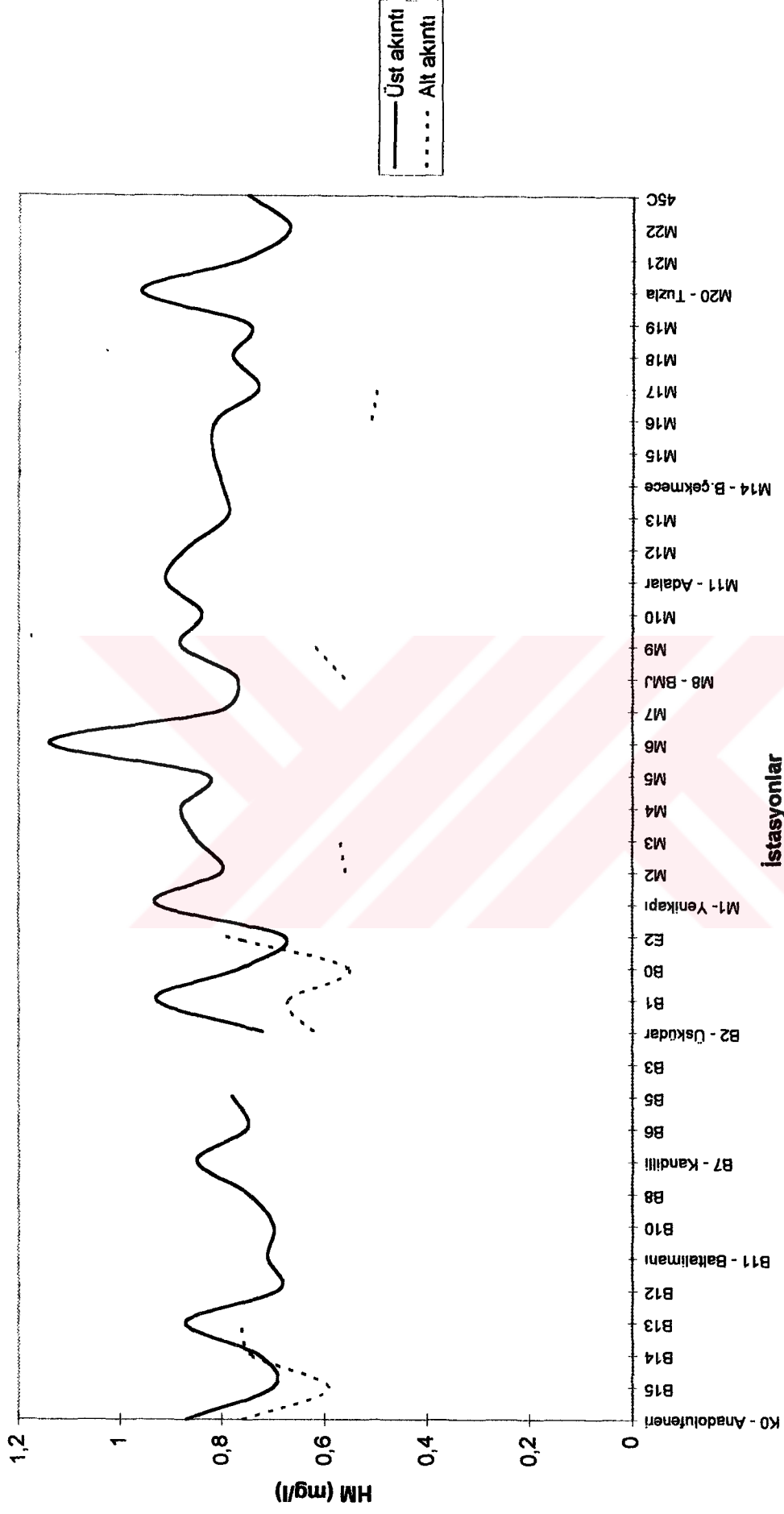
Şekil 5.2. Boğaz ve Boğaz-Marmara birleşim bölgesinde çeşitli araştırmacılarca kullanılan ölçüm noktaları



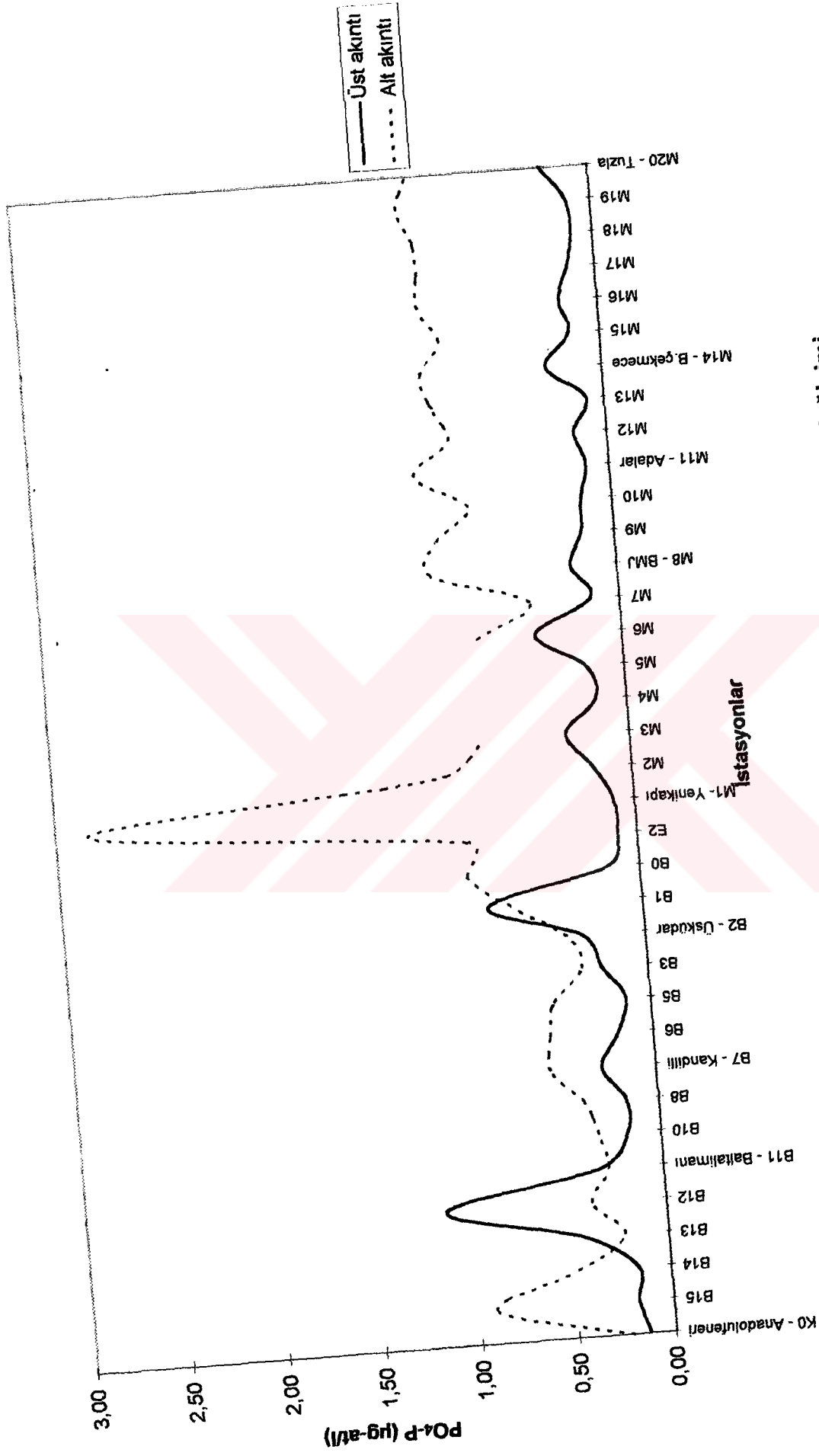
Şekil 5.3, Boğaz boyunca 1987 yılı hümk madde konsantrasyonları değişimi



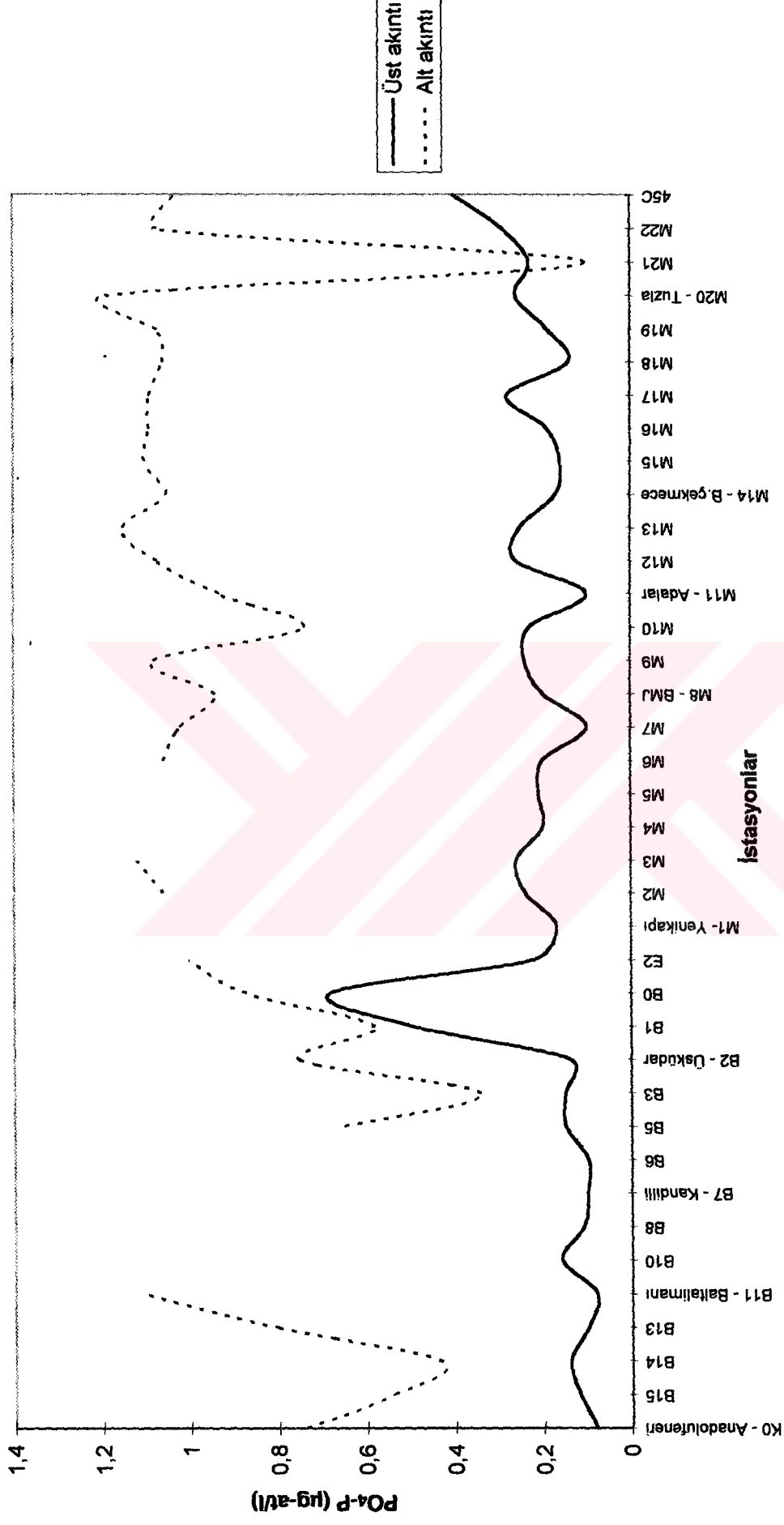
Şekil 5.4. Boğaz boyunca 1988 yılı hüyük madde konsantrasyonları değışimi



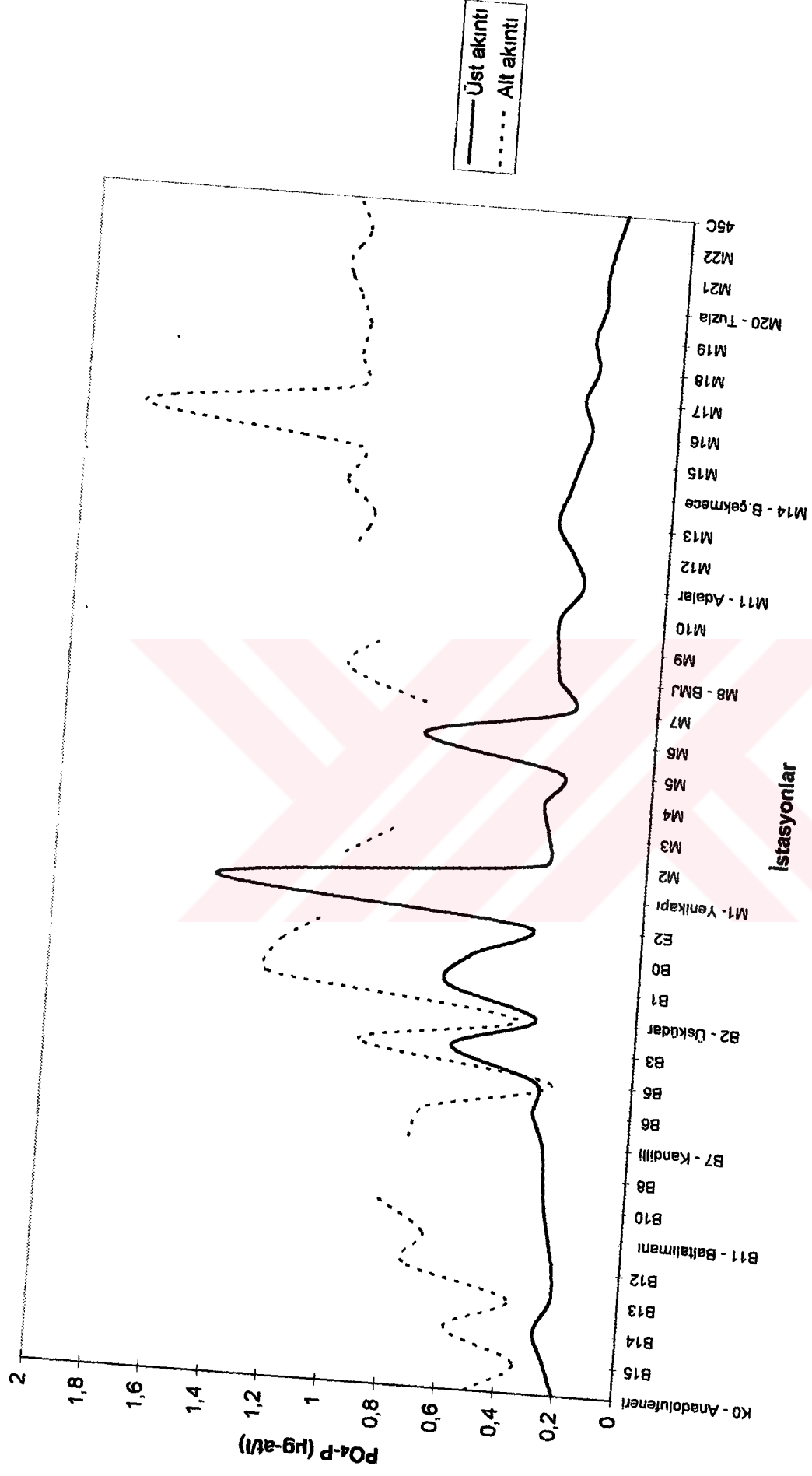
Şekil 5.5. Boğaz boyunca 1989 yılı hümik madde konsantrasyonları değişimi



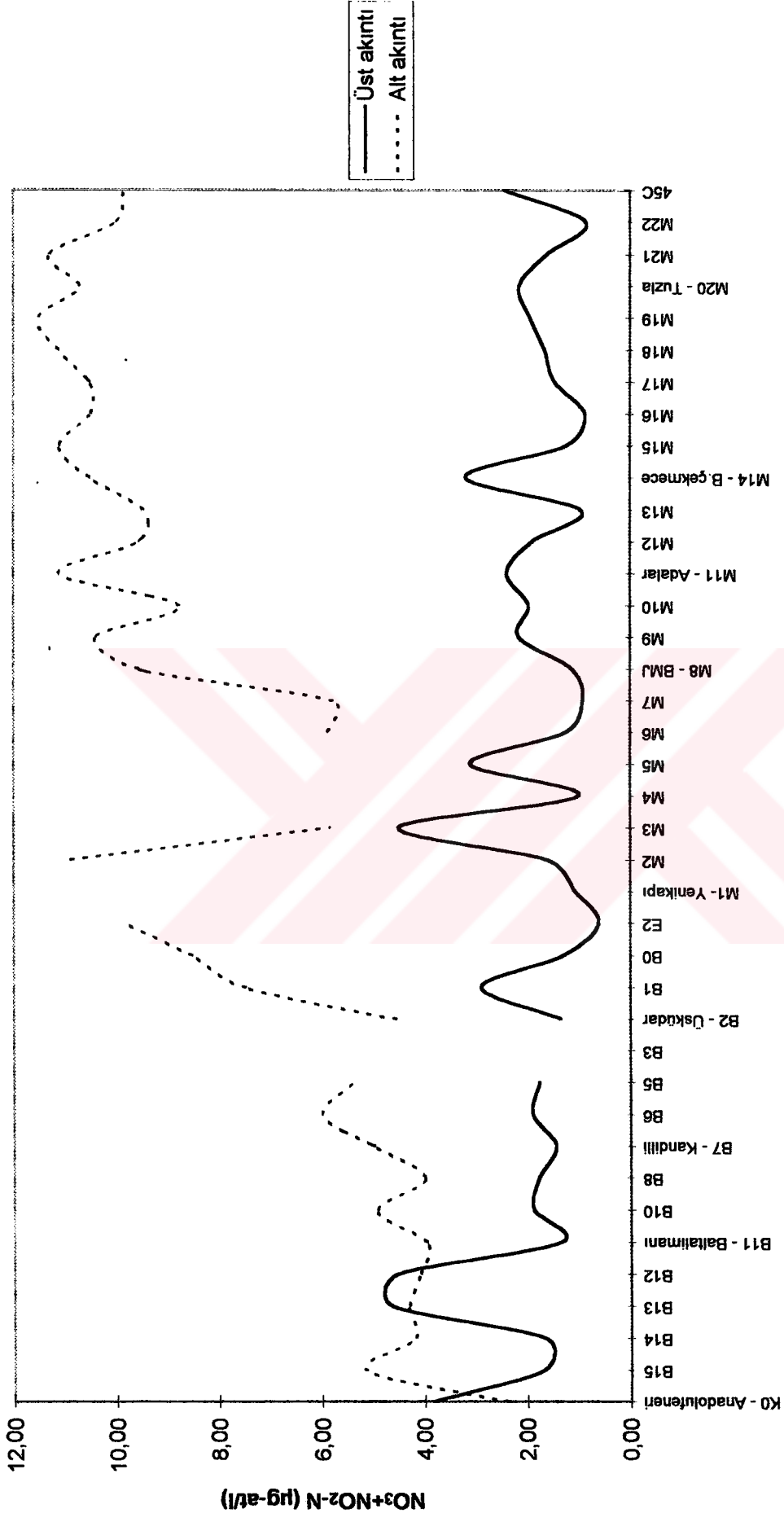
Şekil 5.6. Boğaz boyunca 1987 yılı PO₄-P konsantrasyonları değişimi



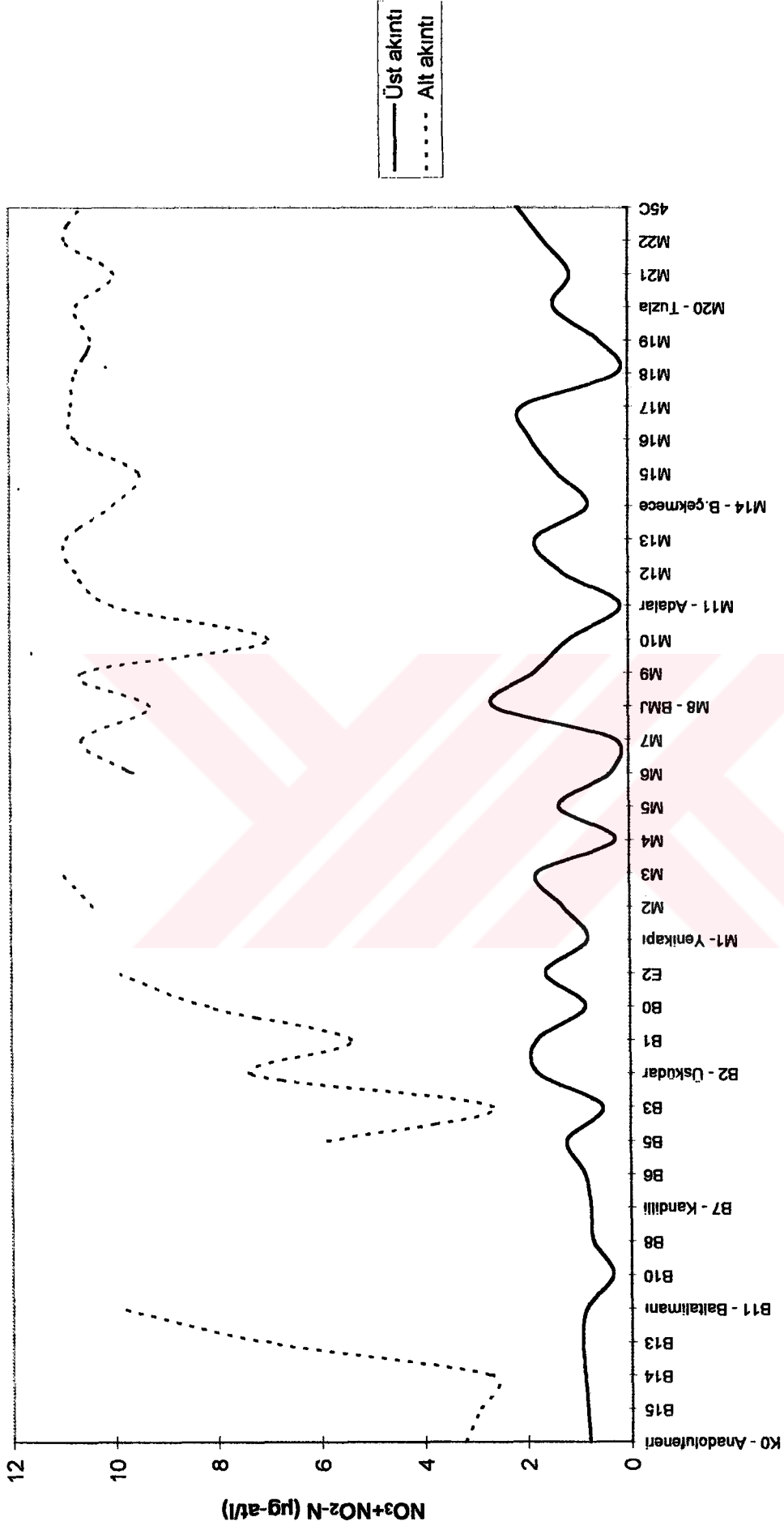
Şekil 5.7. Boğaz boyunca 1988 yılı PO₄-P konsantrasyonları değişimi



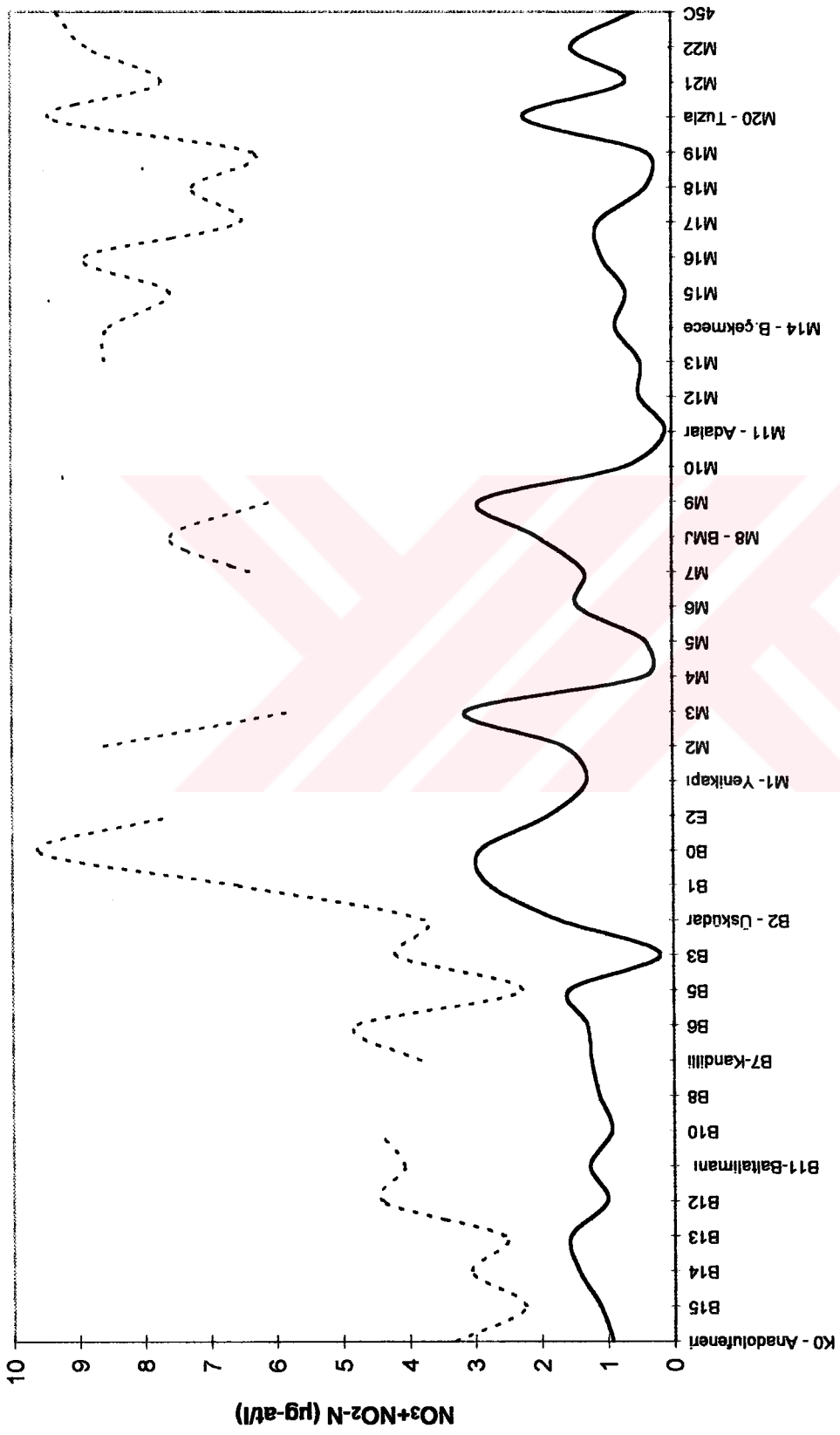
Şekil 5.8. Boğaz boyunca 1989 yılı PO₄-P konsantrasyonları değişimi



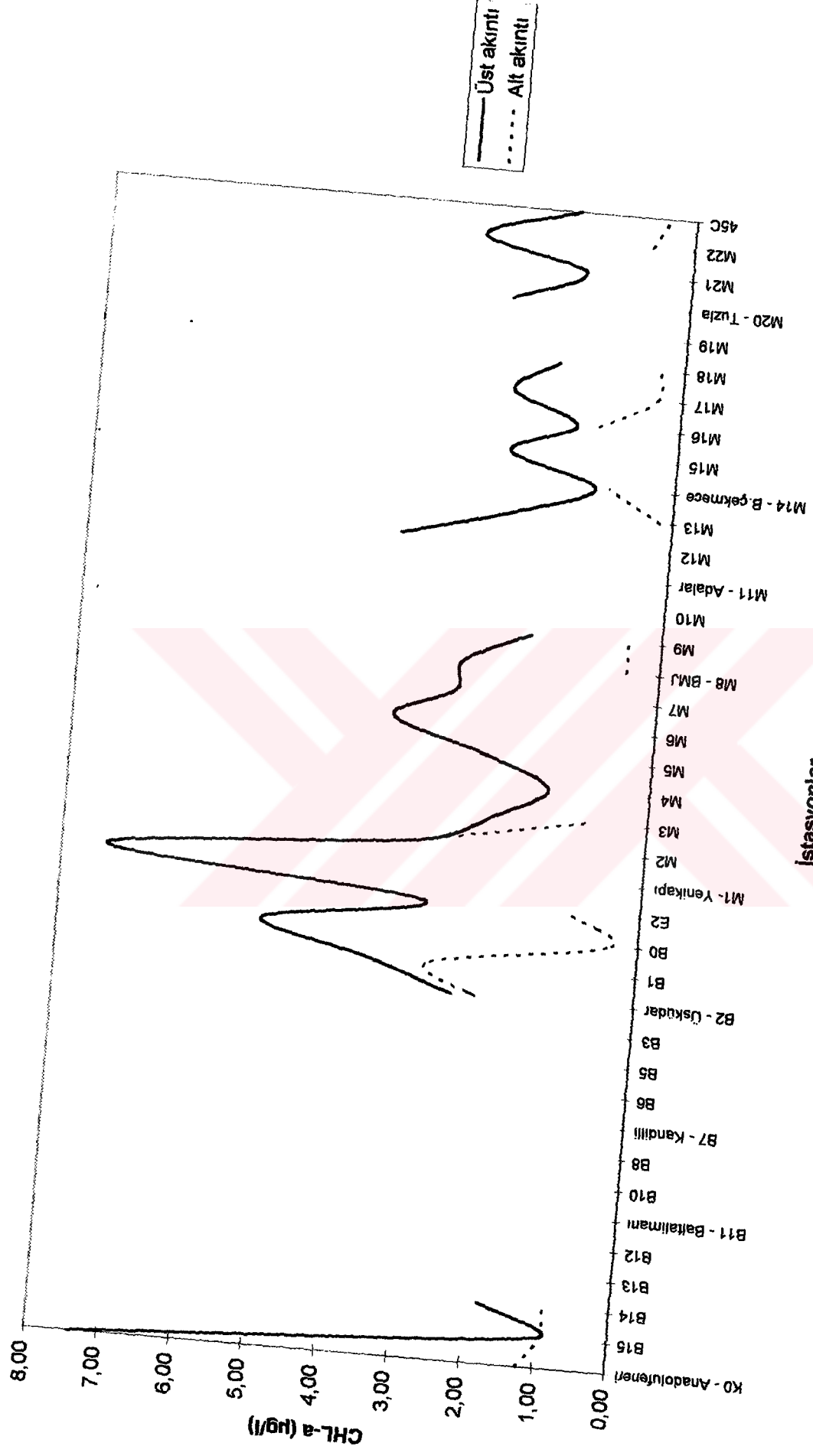
Şekil 5.9. Boğaz boyunca 1987 yılı NO₃+NO₂-N konsantrasyonlarının değişimi



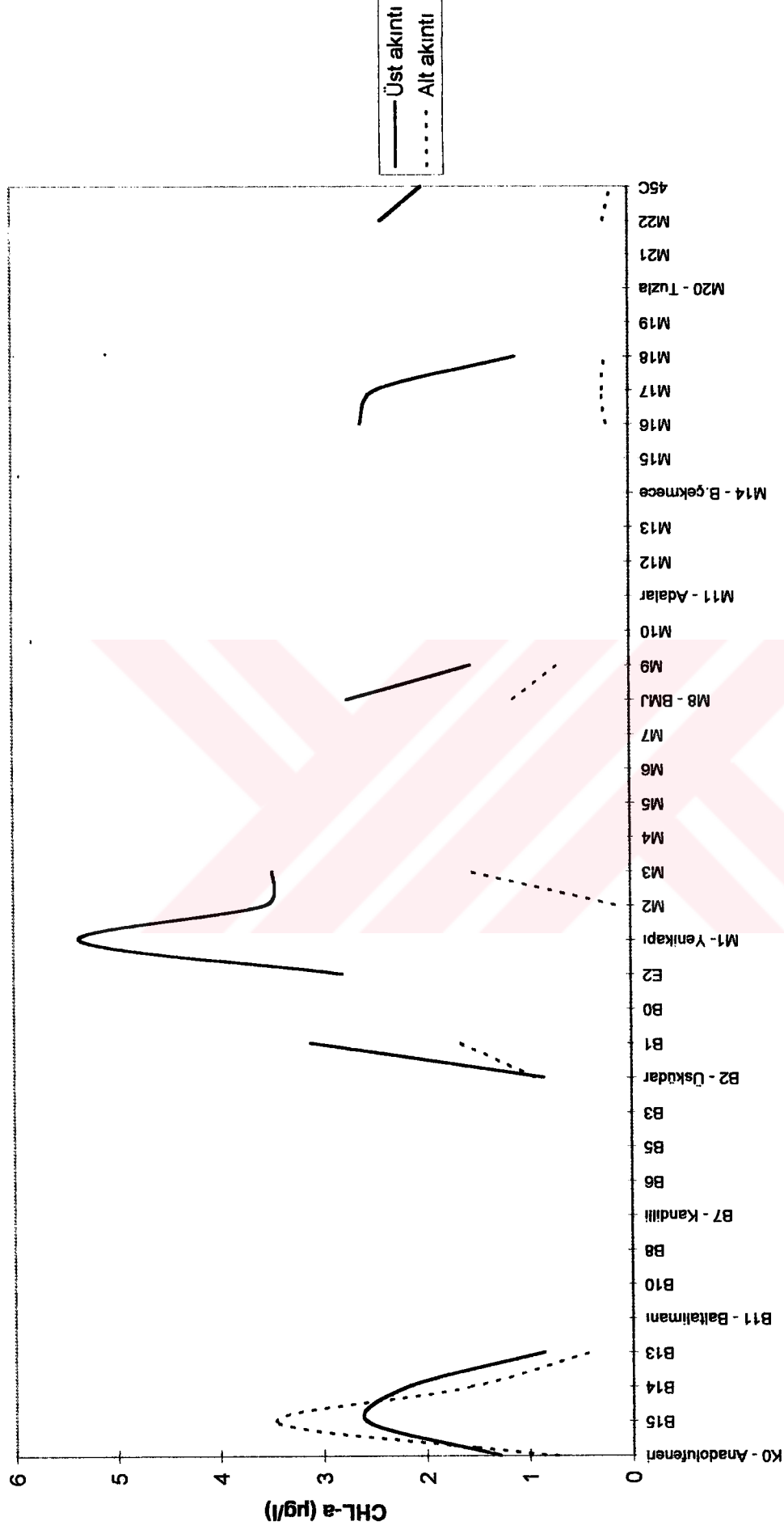
Şekil 5.10. Boğaz boyunca 1988 yılı $\text{NO}_3 + \text{NO}_2\text{-N}$ konsantrasyonları değişimi



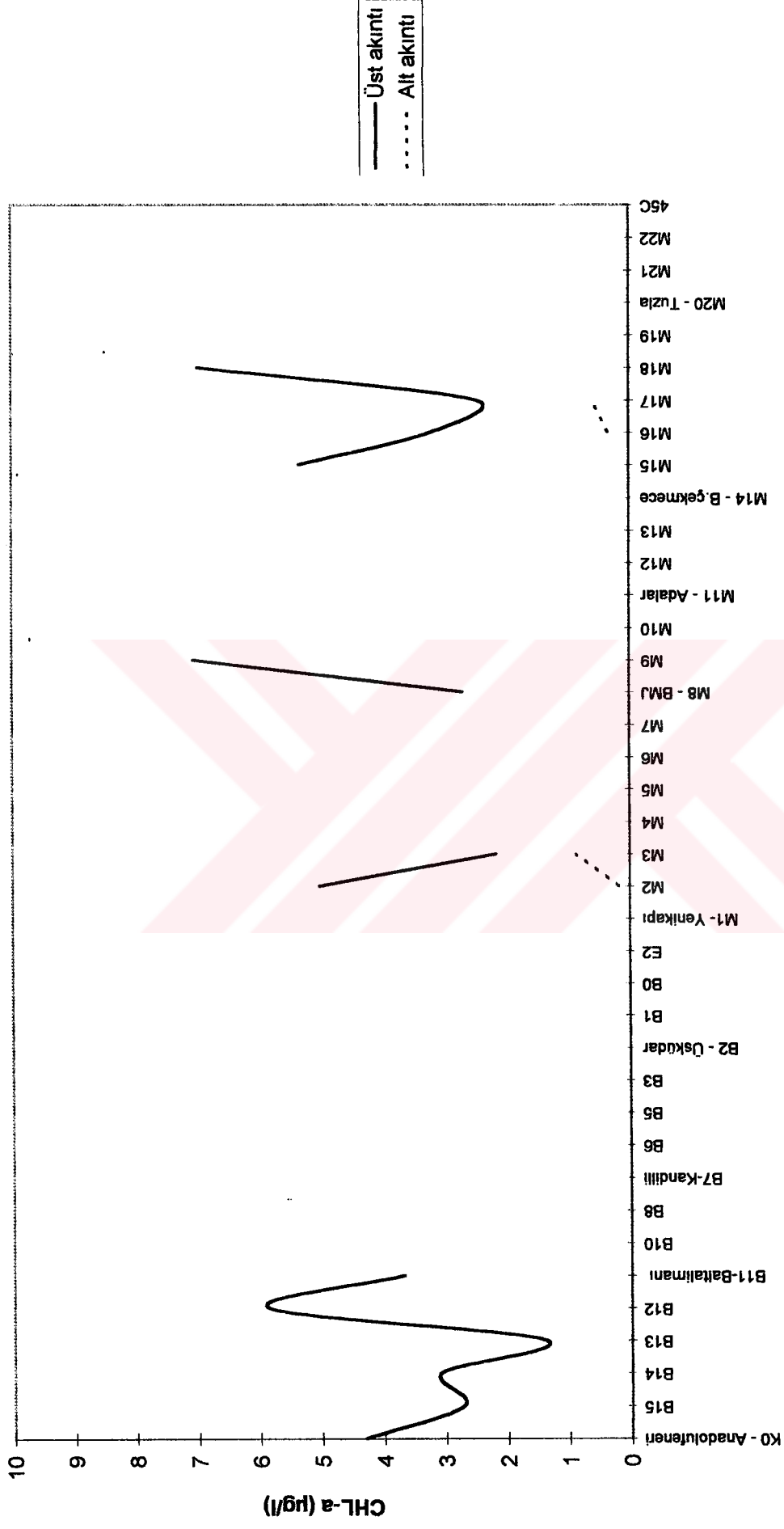
Şekil 5.11. Boğaz boyunca 1989 yılı $\text{NO}_3 + \text{NO}_2\text{-N}$ konsantrasyonları değişimi



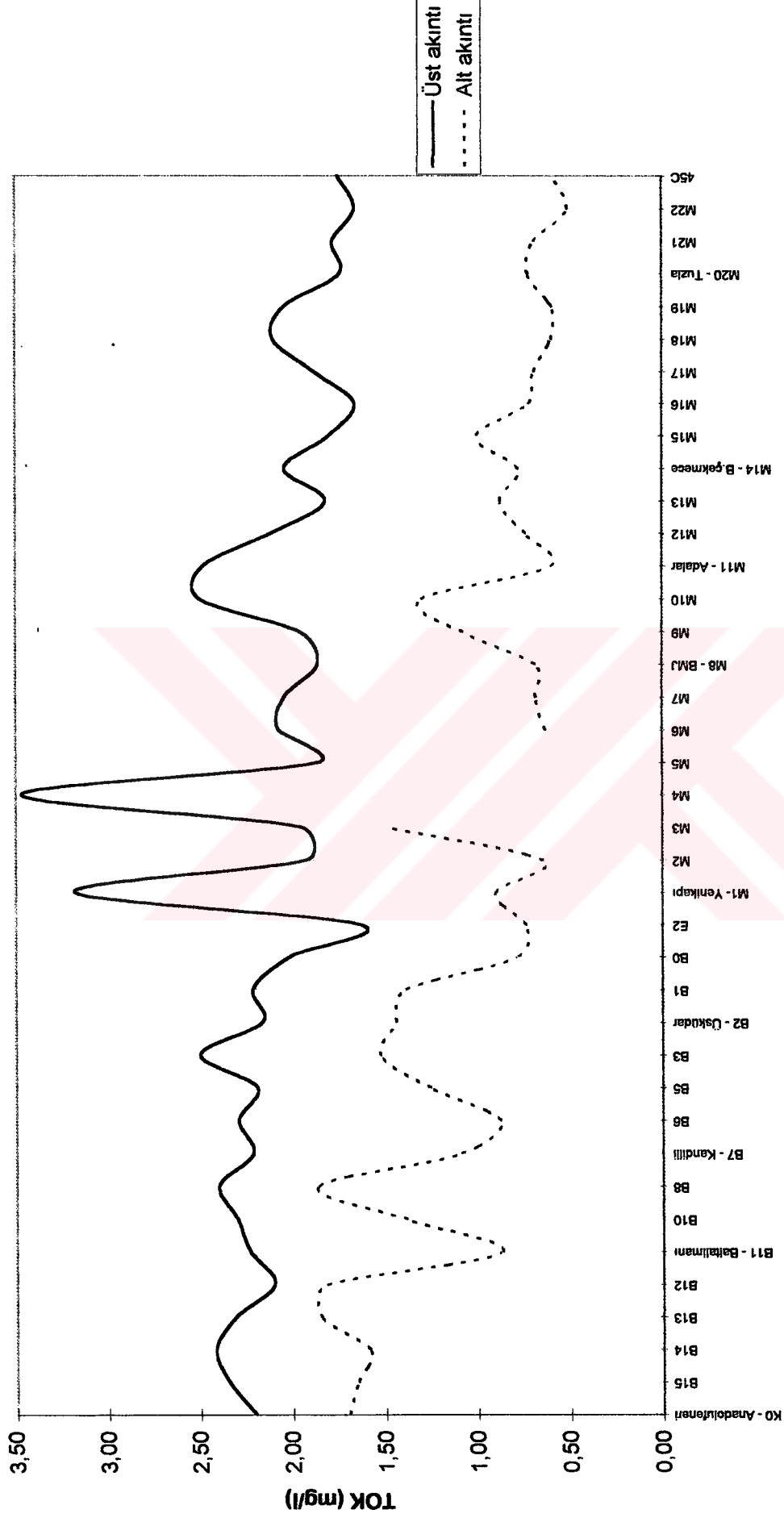
Şekil 5.12. Boğaz boyunca 1987 yılı klorofil-a konsantrasyonları değişimi



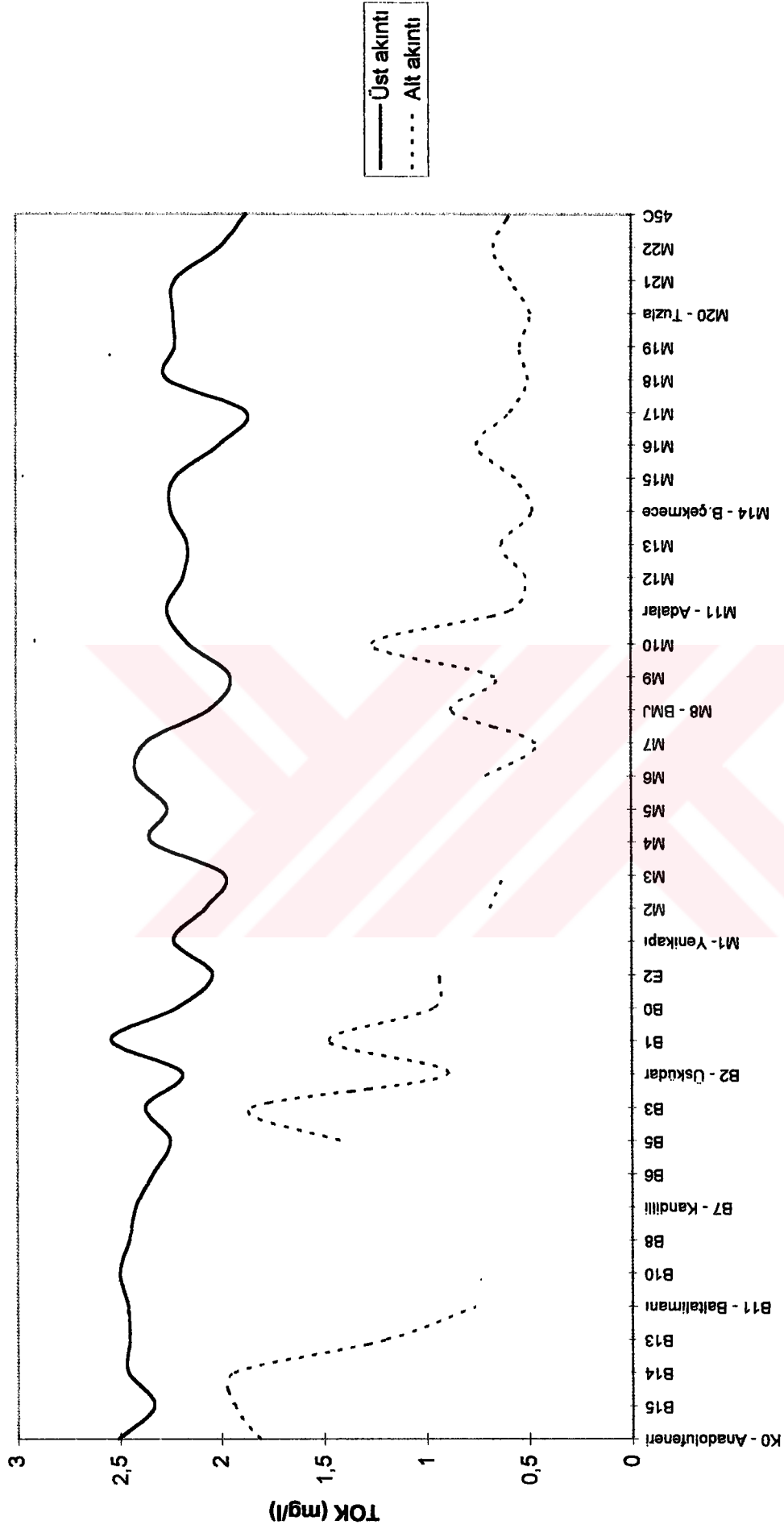
Şekil 5.13. Boğaz boyunca 1988 yılı klorofil-a konsantrasyonları değişimi



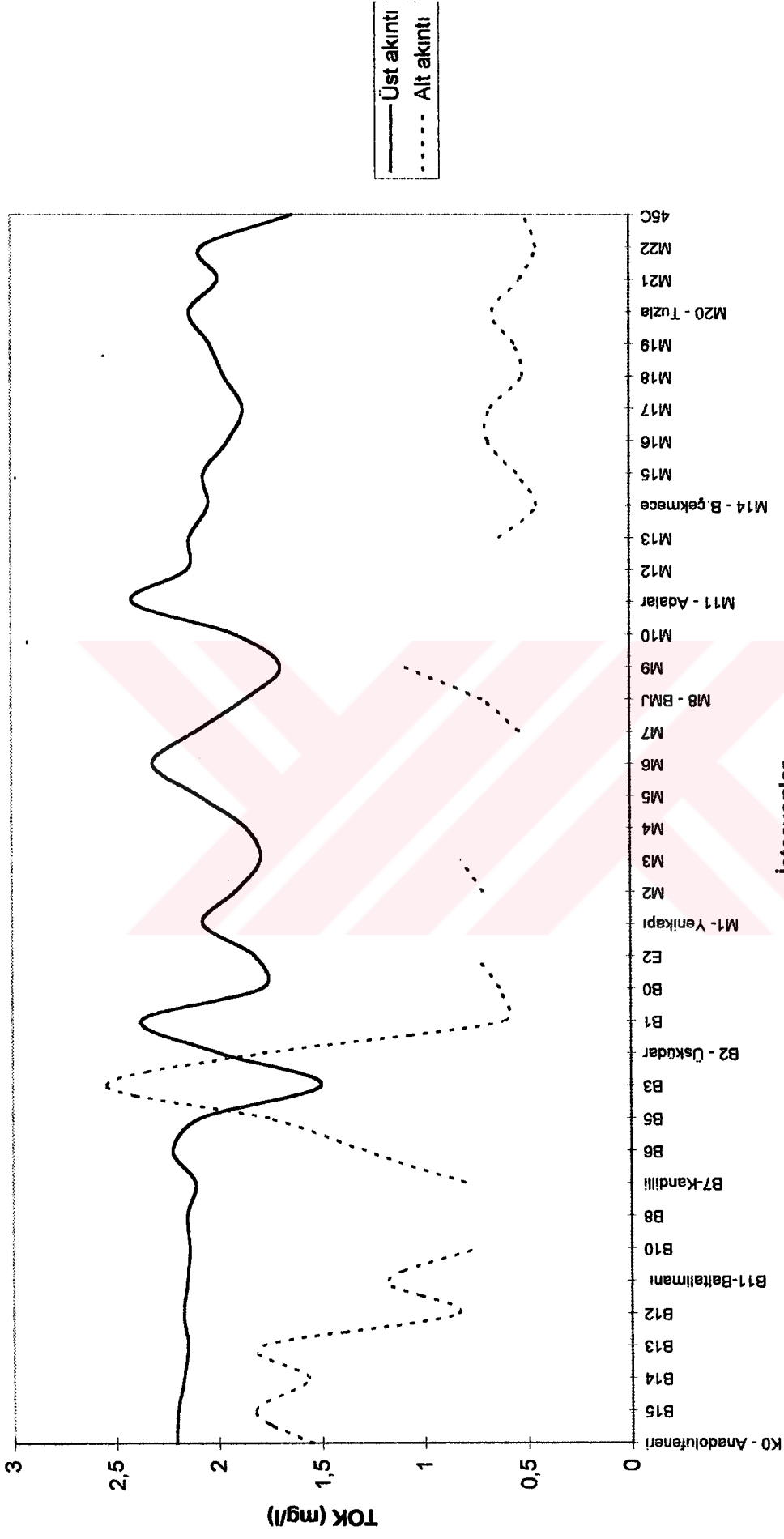
Şekil 5.14. Boğaz boyunca 1989 yılı klorofil-a konsantrasyonları değişimi



Şekil 5.15. Boğaz boyunca 1987 yılı toplam organik karbon konsantrasyonları değişimi



Şekil 5.16. Boğaz boyunca 1988 yılı toplam organik karbon konsantrasyonları değişimi



Şekil 5.17. Boğaz boyunca 1989 yılı toplam organik karbon konsantrasyonları değişimi

Bu grafiklere göre, Hümik madde (HM) üst tabakada 1987 yılında Boğaz boyunca BMJ'den bir miktar yüksek değerler alırken, 1988 yılında Boğaz boyunca özellikle Boğaz/Marmara kesitinde arttığı görülmektedir. BMJ bölgesinde ise 1987 yılına göre kayda değer bir artış olduğu görülmektedir. 1989 yılında Boğaz bölgesinde 1988 yılına göre bir miktar düşme kaydedilirken, BMJ'de hemen hemen aynı düzeyde kaldığı, M22 ve 45C istasyonlarındaki değerlerin Boğaza giriş bölgesinden düşük olduğu görülmektedir. BBJ birleşiminde alt ve üst akıntıların birbirine karıştığı noktalarda hümik madde konsantrasyonu artmaktadır. Akıntıların etkisiyle azalan konsantrasyon Baltalimanı, Üsküdar ve Adalar'dan yapılan deşarjlarla artmaktadır.

Üst tabakaya göre daha düşük değerler aldığı gözlenen alt tabaka HM konsantrasyonları 1987 yılı ortalamalarına göre, BMJ bölgesinde homojene yakın bir dağılım gösterirken Boğaz boyunca daha yüksek ve değişken değerler almaktadır. 1988 yılında BMJ'de özellikle Boğaz giriş enkesitine yakın M istasyonlarında artış kaydettiği, 1989 yılında ise 1988 yılı değerlerine yakın değerler aldığı, Boğaz bölgesinde ise her iki yılda 1987 yılı değerlerine benzer şekilde yüksek kaldığı görülmektedir.

Üst tabaka $PO_4\text{-P}$ konsantrasyonu değişimlerine göre, 1987 yılında Boğaz/Karadeniz girişi (K0) bölgesinde düşük, Boğaz'ın orta kısmında ve Marmara giriş en kesitine yakın istasyonlarda yüksek değerler alırken, Marmara'ya girişte (E2) karışım olaylarının etkisiyle düştüğü, giriş enkesitine yakın (M) istasyonlarında yeniden arttığı ve BMJ bölgesinde 0.09 - 0.45 $\mu\text{g-P/l}$ aralığında değiştiği görülmektedir. 1988 yılında Boğaz boyunca daha düşük değerler gözlenirken, Marmara'ya girişte (E2 ve yakın M istasyonları) artış olmakta, BMJ'de ise bir değişiklik görülmemektedir. 1989 yılı değerlerine göre, Boğaz/Karadeniz bölgesinde büyük artış görülmektedir. Bunun nedeni, 1989 ölçümlerinin kış aylarında yapılması ve bu mevsimde Karadeniz'den nütrient girişinin fazla olmasıyla açıklanabilir. Boğaz'daki artışa paralel olarak BMJ'de de artış olduğu görülmektedir. Özellikle ön arıtmanın yapıldığı Yenikapı deşarj istasyonu civarında fosfor konsantrasyonlarında ani bir sıçrama görülmektedir. Her ne kadar alt akıntıya deşarj yapılsa da, alt akıntının bu bölgede üst akıntıyı etkilediği olasılığı açığa çıkmaktadır.

Alt tabaka $PO_4\text{-P}$ konsantrasyonları değişimlerine göre alt tabaka değerlerinin üst tabaka değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. 1987 yılı ortalama değerlerine göre, M22 ve 45C istasyonlarında daha yüksek olduğu gözlenen $PO_4\text{-P}$ konsantrasyonları, BMJ genelinde biraz daha düşük kalmakta, E2 istasyonu ve Boğaz boyunca azalmaya devam ederek BMJ'den oldukça düşük değerler almaktadır. 1988 yılında BMJ'de bir miktar artış gözlenmektedir. E2 istasyonunda yine, bu bölgedeki karışım olaylarının etkisiyle azalma gözlenirken, Boğaz boyunca 1987 yılına yakın değerler gözlenmektedir. BMJ bölgesinde 1989 yılı değerleri önceki yıl değerleri ile aynı seviyelerde kalırken, Boğaz'a girişte arttığı görülmektedir. Boğaz boyunca ise Karadeniz'e doğru azalarak 1988 yılına yakın değerler almaktadır. Tüm grafiklerden de anlaşılabileceği gibi, Karadeniz sularına göre daha fazla fosfor içeren Marmara suları, Boğaz'a girişte yüksek değerler alırken, akıntıların etkisiyle Karadeniz'e doğru ilerledikçe bu değerlerde düşüş gözlenmektedir. Ancak İstanbul Metropoliten alanının atıksularının deşarj edildiği noktalarda alt akıntıdaki fosfor konsantrasyonlarında sıçramalar olabilmektedir.

Üst tabaka TON ($NO_3 + NO_2$) konsantrasyonu değişimlerine göre, 1987 yılında Karadeniz/Boğaz giriş bölgesinde yüksek değer alırken, güneye doğru azalmakta, Boğaz'ın orta kısmına yakın bölgede yeniden artmaktadır. Ancak, Boğaz/Marmara giriş enkesitine doğru yeniden azalmakta ve E2 istasyonundan sonra tekrar artarak BMJ bölgesinde yüksek değerler almaktadır. 1988 yılında ise, Karadeniz/Boğaz girişi ve Boğaz boyunca düşük değerler aldığı gözlenirken, Marmara'ya giriş en kesiti ve E2 istasyonunda arttığı görülmektedir. BMJ'ye giriş bölgesindeki M istasyonlarındaki değerler 1987 yılından düşük kalırken, BMJ genelinde yakın değerler almaktadır. 1989 yılı değerlerine göre, Karadeniz/Boğaz girişi bölgesinde düşük değerler alırken, Boğaz'a girdikten sonra artarak, 1988 yılı değerlerinden daha yüksek gözlenmektedir. Marmara'ya giriş enkesitinde aynı artış olmakla birlikte, BMJ'de özellikle, Marmara'ya yakın istasyonlarda 1987 ve 1988 değerlerine göre düşük kalmaktadır. Bu da İstanbul Boğazı akıntılarının atmosferik koşullardan önemli ölçüde etkilendiğinin belirtisidir. Zira hava koşulları akıntı hızını ve miktarını değiştirdiğinden kirletici madde miktarları da bundan etkilenmektedir.

Üst tabakaya göre oldukça yüksek olan alt tabaka TON konsantrasyonu değişimlerine göre, 1987 yılında Marmara'dan BMJ bölgesine girişte yüksek değerler alırken, Boğaz enkesitine doğru azalmakta, bu kesitte tekrar artarak Boğaz boyunca bu durumu korumaktadır. 1988 yılı değerleri Marmara'dan giriş ve BMJ genelinde aynı seviyede kalırken, Boğaz giriş kesitinde ve Boğaz boyunca azalmaktadır. 1989 yılı değerleri BMJ ve Boğaz boyunca diğer yıllara göre düşük seviyededir. Ölçüm yapılan üç yılın genelinden Marmara Denizi'nin bes elementleri açısından Karadeniz sularına göre daha zengin olduğu, Boğaz boyunca akıntıların etkisiyle Karadeniz'e doğru konsantrasyonlarda düşüş gözlemlendiği, ancak karasal atıksuların deşarj yapıldığı noktalarda bu düşüşün etkilendiği söylenebilir.

Üst tabaka TOK değişimlerine göre, 1987 yılı değerleri Karadeniz-Boğaz giriş ve Boğaz boyunca 2.2 - 2.4 mgC/l aralığında değişirken, Boğaz'ın güney girişine doğru özellikle giriş enkesitinde büyük miktarda azalmaktadır. BMJ bölgesinde bir miktar yükselme gözlenirken, bu bölgede en yüksek değerler kıyılara yakın bölgelerde okunmaktadır. Karadeniz - Boğaz giriş ve Boğaz bölgesindeki değerler 1988 yılına göre daha yüksek seviyede kalmakta, yine Marmara giriş enkesitinde bu bölgedeki kuvvetli karışım olayları etkisiyle düşmekle birlikte, bu bölgede ve BMJ'de daha yüksek değerler almaktadır. 1989 yılı değerleri ise, BMJ bölgesinde kıyılara yakın bölgeler haricinde her iki bölgede de önceki yıllara göre daha düşük seviyededir.

Nütrient konsantrasyonlarında gözlenen alt tabakadaki daha yüksek değerlerin tersine, TOK konsantrasyonları alt tabakada üst tabakaya göre daha düşük değerler almaktadır. 1987 yılı değerlerine göre, Marmara'dan (M22 - 45C) düşük konsantrasyonla giren alt tabaka sularında, BMJ bölgesine girdikten sonra TOK konsantrasyonu bir miktar artmaktadır. Boğaz giriş enkesitinde düşme gözlenmekle birlikte, Boğaz'a girdikten sonra kayda değer bir artış göstermekte ve bu artış Boğaz boyunca Karadeniz'e giriş en kesitine kadar devam etmektedir. 1988 yılı değerlerine göre, BMJ bölgesinde genel olarak bir değişiklik olmamakta, Boğaz giriş enkesitinde hızlı bir artış göstererek, Karadeniz'e 1987 yılına göre daha yüksek bir değerle çıkmaktadır. 1989 yılı ortalamalarına göre, Marmara'dan girişteki değerler önceki yıllara göre düşük kalırken, BMJ genelinde büyük bir değişim gözlenmemektedir. Boğaz giriş enkesitinde ve Boğaz boyunca bir miktar düşme olmaktadır.

Azot ve fosforun aksine, Karadeniz suları TOK açısından Marmara Denizi sularına göre çok daha fazla zengindir. Zira Karadeniz tabanından kaynaklanan doğal karbon ve havzanın civarındaki akarsularla taşınan TOK içeren karasal atıksular, Karadeniz'i bu kirletici açısından zenginleştirmiştir. Ayrıca sadece ön arıtmanın yapıldığı Yenikapı civarında yüzeysel suların TOK konsantrasyonunda artış gözlemlenmiştir.

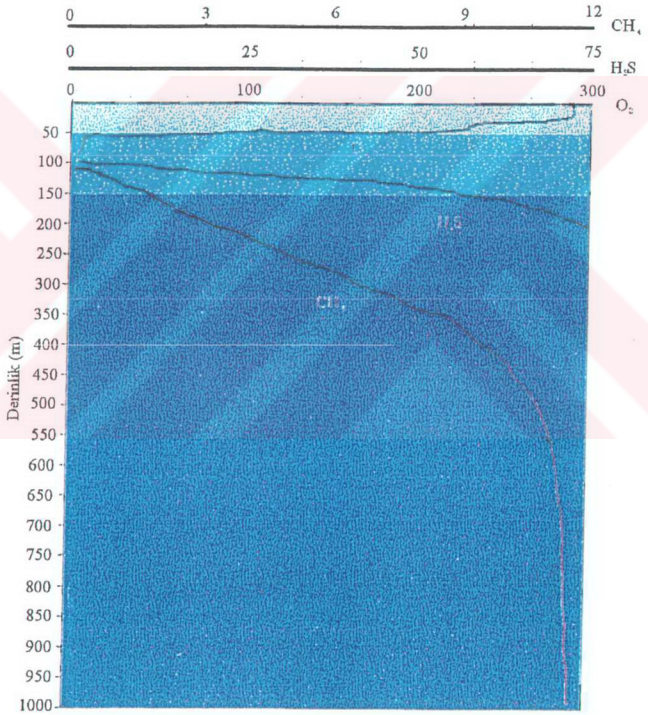
Üst tabaka klorofil-a konsantrasyonu değişimlerine göre, 1987 yılında Karadeniz'den Boğaz'a giriş bölgesinde yüksek değer alırken, Boğaz boyunca düşmektedir. Boğaz/Marmara birleşim bölgesine yaklaşırken Yenikapı deşarjının da etkisiyle tekrar artmakta, BMJ bölgesinde ise sahillere yakın bölgeler haricinde düşük değerler almaktadır. 1988 yılı değerlerine göre, Karadeniz'den Boğaz'a giriş bölgesindeki değerler 1987 yılına göre düşük kalırken, Boğaz'ın güney girişinde artış göstermektedir. Boğaz/Marmara giriş bölgesinde karışım olayların etkisiyle bir miktar düşme olurken, BMJ'ye giriş bölgesinde hızlı bir artış olmaktadır. Ancak, BMJ genelindeki değerler 1987 yılı değerlerine yakın görülmektedir. 1989 yılı değerlerine göre, Karadeniz'den giriş bölgesi de dahil olmak üzere her iki bölgede de, özellikle BMJ bölgesinde büyük artış gözlenmektedir.

Işık geçirgenliğinin azalmasına bağlı olarak alt tabaka klorofil-a konsantrasyon değerleri üst tabaka değerlerine göre düşük seviyededir. 1987 yılı değerlerine göre, Marmara'dan BMJ'ye giriş ve Boğaz'a yakın istasyonlar haricinde BMJ bölgesinde düşük değer alırken Boğaz'a girişte ani artış olmaktadır. Boğaz'ın kuzey girişine doğru ise azalma gözlenmektedir. 1988 yılı değerlerine göre, Marmara'ya giriş ve BMJ genelinde önceki yıla göre düşük seviyede kalırken, Boğaz giriş kesitinde ani artış olmaktadır. Ancak, Boğaz'a girdikten sonra ve kuzey giriş bölgesine doğru azalırken, Karadeniz'e çıkışa yakın istasyonlarda ani bir artış olmaktadır. 1989 yılı değerlerine göre, BMJ geneli aynı seviyede kalırken Boğaz'a giriş bölgesinde (E2) büyük oranda azalma gözlenmektedir.

5.2.1. BBJ kesiminde su kalitesi

Marmara Denizi Boğaz çıkışından başlayarak Karadeniz'in haloklin altı tabakasına yöneldiğinden ve Karadeniz'de haloklin altı ve üstü tabakalar arasında düşey yönde madde alışverişi olmadığından, Marmara Denizi çıkıştaki sınırlı bir bölge dışında Karadeniz üst tabakası su kalitesini etkilememektedir. Karadeniz'in toplam hacminin %90'nını oluşturan alt tabaka anoksikdir (Şekil 5.18). Yapılan çeşitli araştırmalara göre Karadeniz'e yılda ortalama 150 milyon ton katı madde, 200 milyon ton tuz, 9 milyon ton organik madde, 0.2 milyon ton azot, 0.02 milyon ton fosfor ve 1 milyon ton silika boşaltılmaktadır (Gönenç vd., 1994). Ancak Karadeniz bir üretim merkezi olduğundan, organik maddenin ana kaynağı fitoplanktonlardır. Yıllık üretimden kaynaklanan organik madde, akarsularla taşınanın yaklaşık 10 katıdır (Shimkus ve Trimanis, 1974). Ayrıca büyük miktarlarda ağır metal özellikle Dinyeper nehri ile Karadeniz'e taşınmaktadır. En önemli mangan yükü Rion nehri (Gürcistan), bor yükü Don nehri (Rusya), flor yükü Kuban nehri (Rusya), bakır ve çinko yükü Dinyeper nehri (Ukrayna) kaynaklıdır. Bu elementler büyük oranlarda (deniz suyuna göre 10^7 mertebesinde) deniz organizmalarında konsantre olmaktadır (İSKİ, 1997).

Batı Karadeniz ve Boğaz çıkışı yakınlarında çeşitli kurumlarca yetmişli yıllardan günümüze üst ve alt tabakalarda ölçülmüş su kalite parametrelerinin değerleri Tablo 5.11'de ve bunların mevsimsel değişimi Tablo 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.18. Karadeniz’de aerobik-anoksik anaerobik tabakalar (İSKİ, 1997)

Tablo 5.11. Karadeniz'in kıyı sularında değişik tabakalar için besi maddelerinin ortalama değerleri (Konsantrasyonlar mg/m³ cinsindendir) (İSKİ, 1997)

Nutrient	0 - 50 m	50 - 150 m	200 - 500 m	Kaynak
O-PO ₄ -P	4.03	44.33	148.18	Sen Gupta, 1971
	6.51	16.43	---	Brewer, 1971
	12.4	40.3	144.77	Soroklin, 1983
	4.03	30.07	164.92	R/VBILIM(1986)
	9.92	22.63	251.1	Gönenç vd.(1994)
	11.7			İÜDBE (1996)
NO ₃ -N	7.42	27.02	6.86	Sen Gupta, 1971
	0.42	11.9	19.18	Brewer, 1971
	11.2	25.2	7	Soroklin, 1983
	1.82	51.8	4.2	R/VBILIM(1986)
	13.58	48.3	11.34	Gönenç vd.(1994)
	12.5	11.03		İÜDBE (1996)
NO ₂ -N	3.5	4.2	3.36	Sen Gupta, 1971
	N. D.	0.14	0.84	Brewer, 1971
	1.12	1.4	1.54	R/VBILIM(1986)
	1.68	1.26	1.96	Gönenç vd.(1994)
	1.10	1.23		İÜDBE (1996)

Tablo 5.12. Karadeniz'den Boğaz birleşimini çevreleyen bölgenin üst tabaka sularında seçilen bazı parametrelerin mevsimsel değişimi (İSKİ, 1997)

	Şubat 85	Şubat 96	Mayıs 85	Mayıs 96	Ağustos 85	Ağustos 96	Kasım 85	Kasım 96
TSS (mg/l)	1.3		1.14	2.9	0.81	7.65	4.41	
PO ₄ -P (mg/m ³)	6.51	38.59	6.51	3.2	8.06	2	25.73	3.7
NO ₃ +NO ₂ (mg/m ₃)	12.6	36	19.88	10.07	17.78	8.76	68.74	11.9

BBJ içinde su kalitesi konusunda 1987-1995 yılları arasındaki çalışmaları kapsayan sonuçlar Tablo 5.13'de verilmiştir.

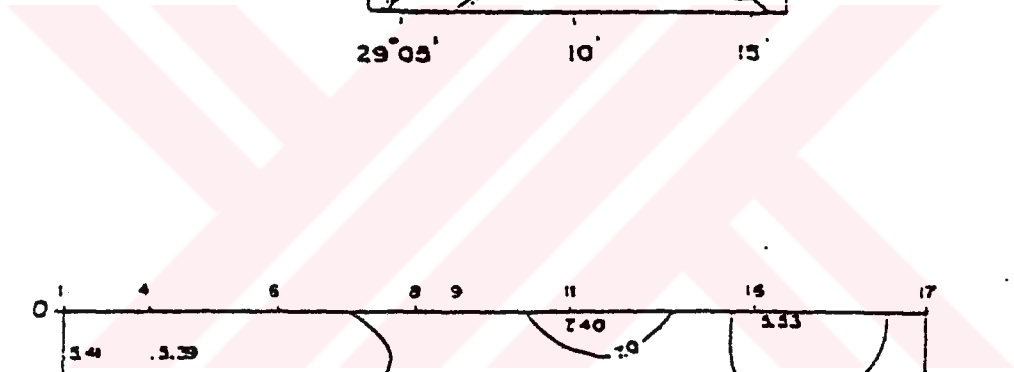
Tablo 5.13. BBJ içinde su kalitesi (mg/m³) (İSKİ, 1997)

	O-PO ₄ 1	Top PO ₄ 2	NO ₃ -N+NO ₂ -N 1	NH ₃ 2	Silika 2	AKM 1	ÇO 1	TOC 2	TOC 1
BBJ Çevresi									
Üst Tabaka (50 m)	4,65	9,92	7	15,26	0,7	156	1,92	5,86	
Alt Tabaka (150 m altı)	9,3	251,1	385	13,3	84	3224		0	
Boğaz Çıkışı									
üst	4,03	13,95	15,96	11,48	24,2	312	7,5	5,57	2,26
alt	27,59	55,8	128,1	134,68	5,6	1300	2,5	1,82	0,7

(1) ODTÜ

(2) İTÜ - İÜ - SHOD

BBJ içinde su kalitesi genel olarak Karadeniz su kalitesine benzerlik gösterir. Ancak özellikle Boğaz çıkışı alt tabaka su kalitesi Marmara Denizi kalitesini yansıtmaktadır. Marmara Denizi İstanbul Boğazı'ndan çıkıp Karadeniz alt tabakası boyunca ilerledikçe yatay doğrultularda karışmaktadır. Sonuçlar düşey doğrultuda bir karışımın olmadığını göstermektedir. Bu durum DHI (1993), 3 boyutlu model çalışmasında da kanıtlanmıştır. BBJ kesiminde çözünmüş oksijenin derinlikle değişimi Şekil 5.19'da gösterilmiştir. Buna göre üst tabaka çözünmüş oksijen konsantrasyonları doygunluk değerine yakınken, alt tabaka Marmara Denizi etkisinde 3 mg/l'ye düşmektedir. Boğaz çıkışında da bu durum çok daha net gözükmemektedir.



Şekil 5.19. BBJ kesiminde çözünmüş oksijenin derinlikle değişimi (İSKİ, 1997)

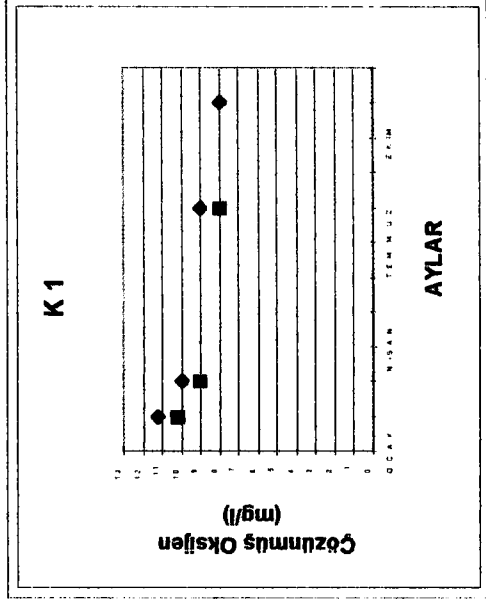
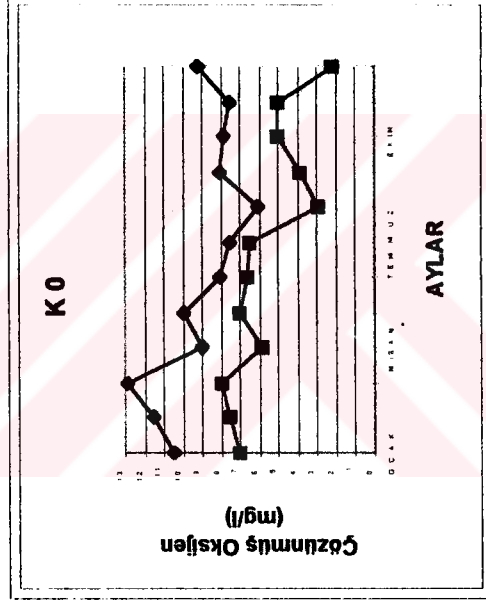
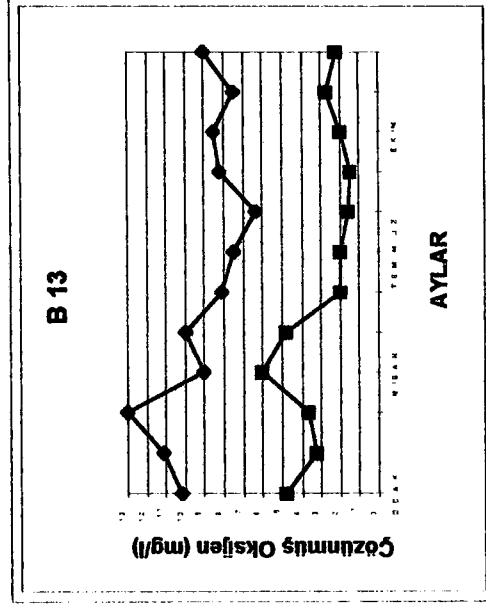
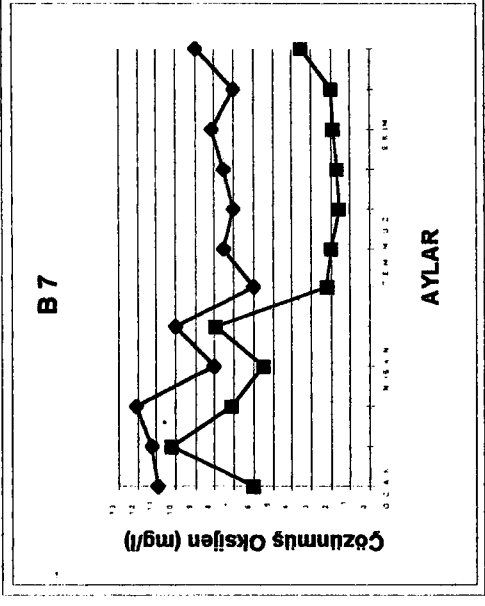
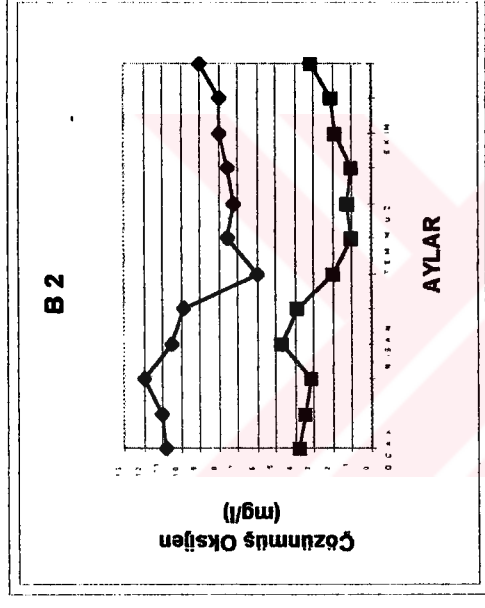
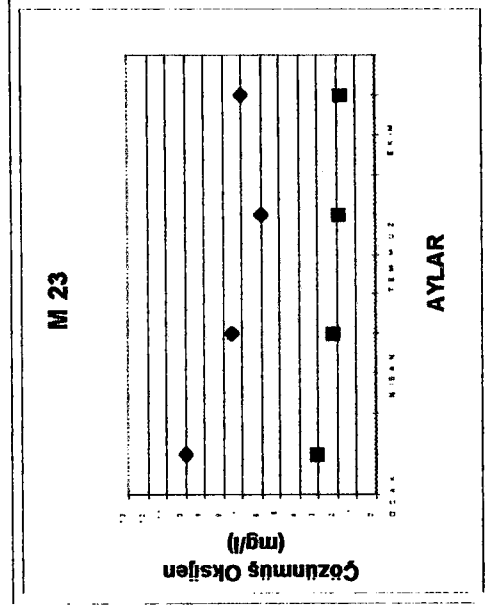
5.2.2. İstanbul Boğazı su kalitesi

İstanbul Boğazı sularının kalitesi üst tabakada Karadeniz sularının, alt tabakada Marmara Denizi sularının kalitesi ile Boğaz boyunca yapılan atıksu ve yağmur suyu deşarjları tarafından kontrol edilmektedir. Son yıllarda tamamlanan Ahırkapı ve Üsküdar deniz deşarjları, Marmara alt akımının Boğaza yönelmesi nedeniyle, Boğaz alt tabaka su kalitesini ayrıca etkilemektedir.

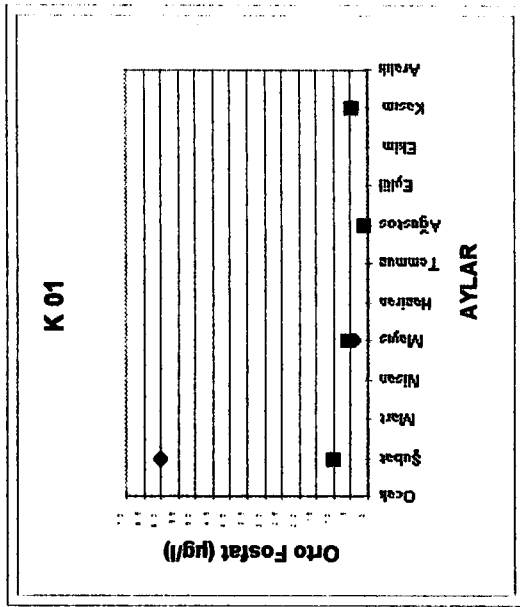
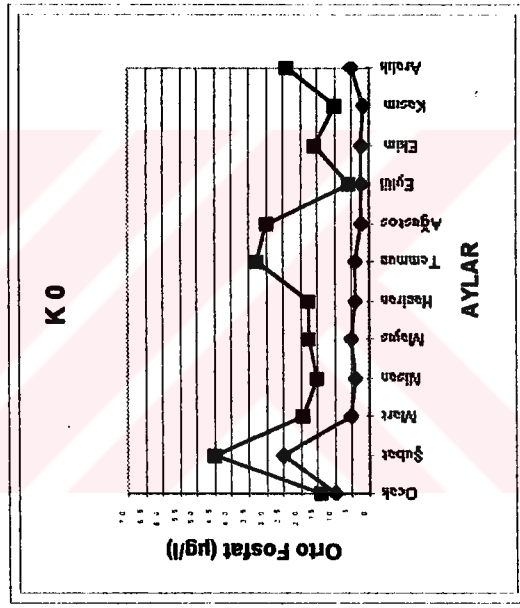
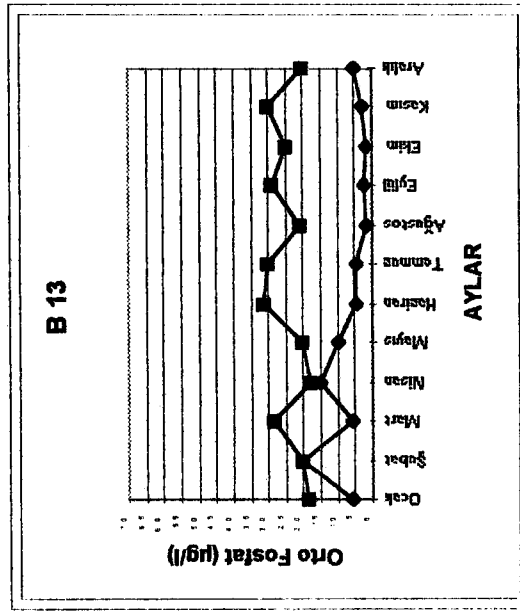
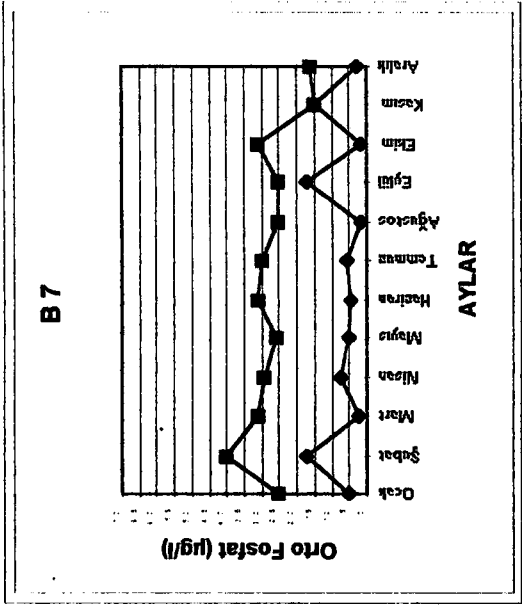
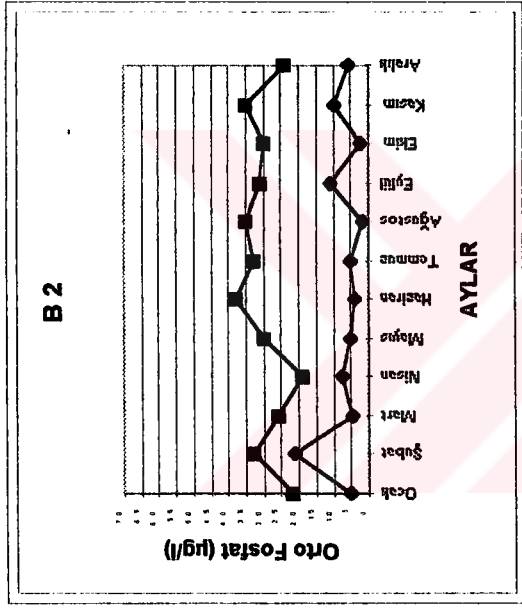
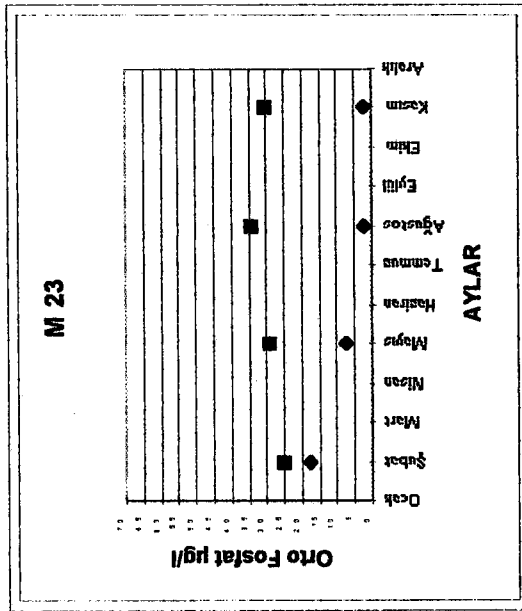
Boğazın kuzey ucunda su oldukça berrak iken (secchi diski derinliği 7 m), güney ucuna doğru berraklık giderek azalmaktadır (secchi diski derinliği 2 m) (Aral, 1994). Akımın üst tabakada kuzey-güney yönlü olduğu gözönüne alındığında, bu azalmanın büyük ölçüde yüzeye rastgele yapılan deşarjlardan kaynaklandığı söylenebilir.

Gerek İ.Ü, gerekse ODTÜ tarafından yapılan çalışmaların her ikisinde de fekal koliform (FC) ölçüm sonuçları yukardaki saptamayı doğrulamaktadır. Bu çalışmalara göre; Boğaz kuzey ucunda 0 - 10 FC / 100 ml olan yüzey suyu koli miktarı, Boğaz boyunca giderek artarak özellikle Karaköy, Dolmabahçe ve Kadıköy önlerinde yüzey deşarjları yoğunluğu nedeniyle ve özellikle kış aylarında 1000 FC / 100 ml sınırını aşmaktadır. Aynı durum yaz aylarında da görülmesine karşın, kış aylarındaki artışın yüzeysel yağmur suyu akışlarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Ahırkapı deşarjının etkisini belirlemek amacıyla 1992 yılında ODTÜ tarafından yapılan çalışmalarda ise, Boğaz boyunca yaklaşık 10 saat süresinde ilerleyen alt tabakada FC miktarında önemli bir azalma görülmemiştir. Başka bir deyişle alt tabakadan üst tabakaya, karışım nedeniyle önemli miktarda FC geçişi olmamıştır. Ancak 1985 - 1989 yılları arasında, alt tabakanın bloke olduğu sürelerde (birkaç gün boyunca) Boğaz boyunca bazı kesimlerde üst tabaka sularda FC artışları tespit edilmiştir (Tuğrul vd., 1990). Bu süreler dışında haloklin altı sularda, deşarjlara rağmen alt tabakada FC seviyeleri Boğaz boyunca değişim göstermemekte ve üst tabakaya önemli miktarda herhangi bir karışma görülmemektedir.

Geçiş bölgesi olması nedeniyle, Boğaz'ın haloklin alt tabakası Marmara Denizi alt tabakasının, haloklin üstü tabakası ise Karadeniz üst tabakasının N, P, Si, ÇO ve TOK konsantrasyonlarını içermektedir. İSKİ'nin yaptırdığı çalışmaya göre bu parametrelerin Boğaz derinliğinde değişimleri Şekil 5.20, 5.21, 5.22, 5.23 ve 5.24'de gösterilmiştir.

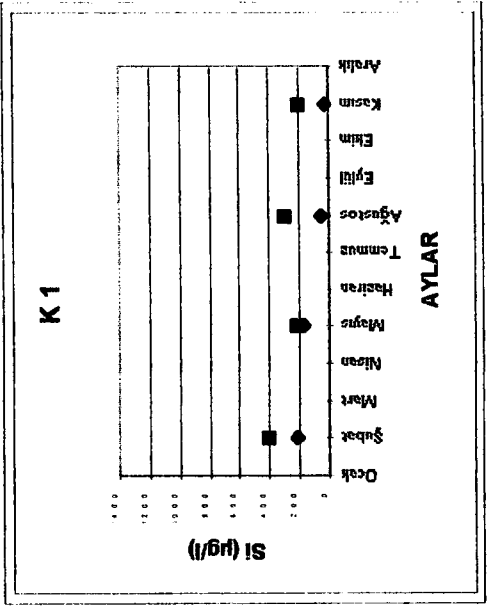
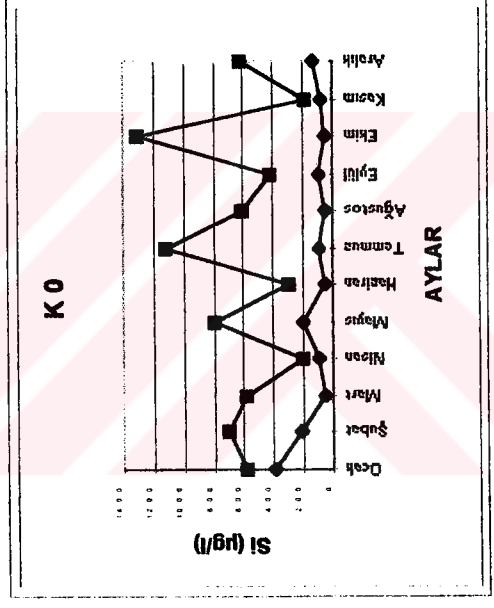
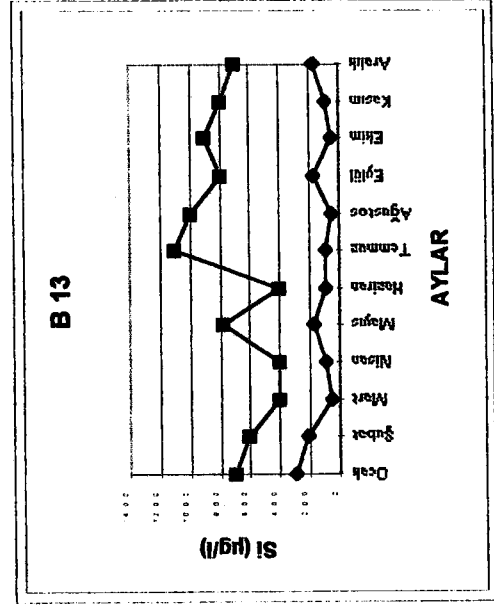
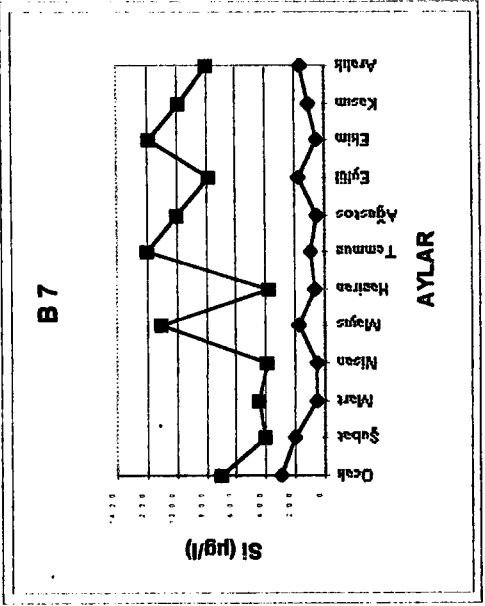
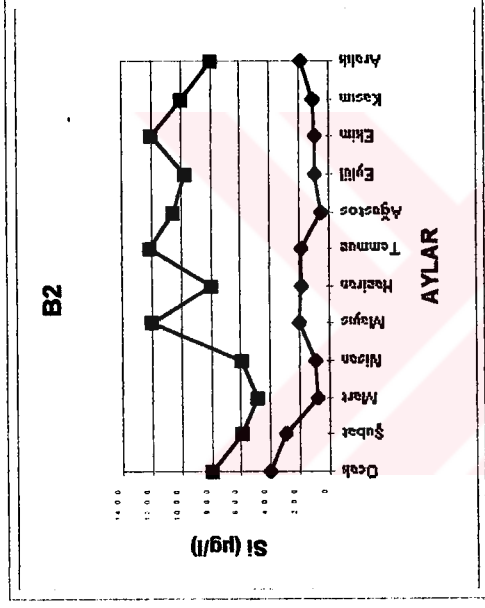
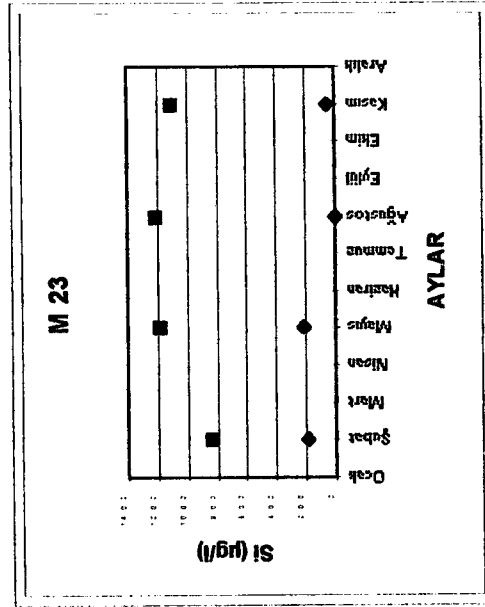


Şekil 5.20. Boğaz boyunca çözünmüş oksijenin değişimi



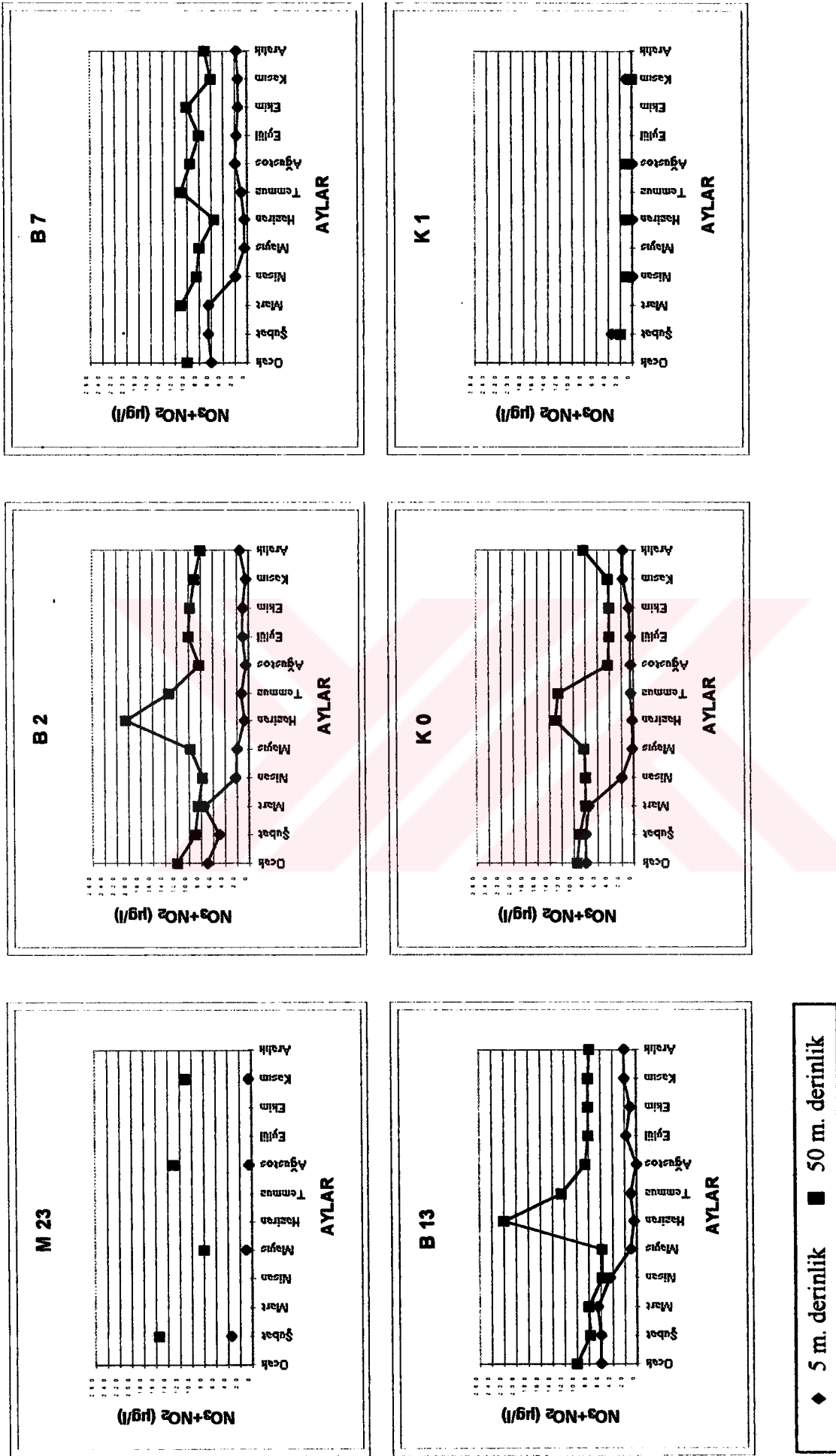
◆ 5 m. derinlik ■ 50 m. derinlik

Şekil 5.21. Boğaz boyunca orto fosfatın değişimi

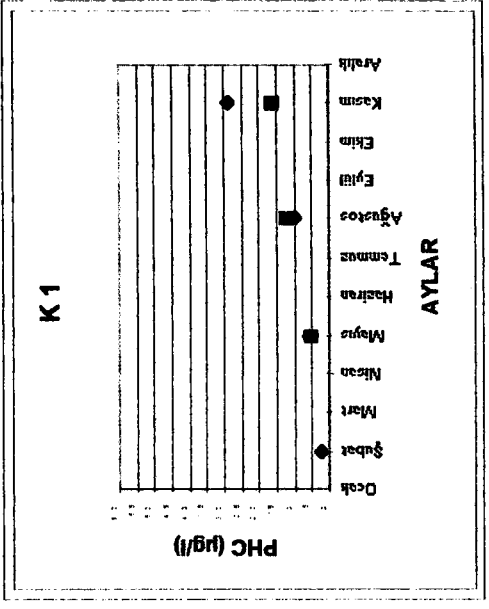
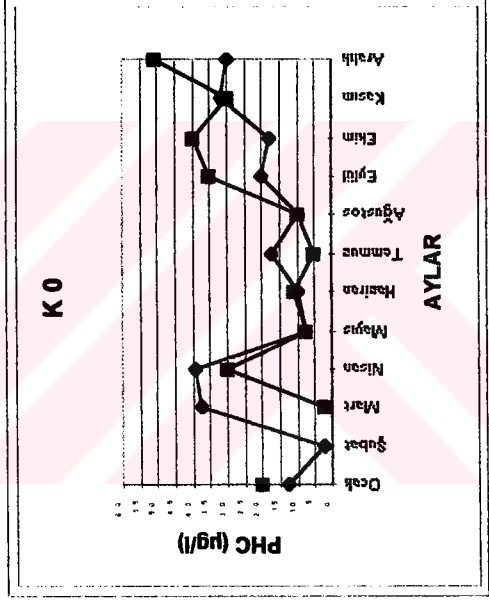
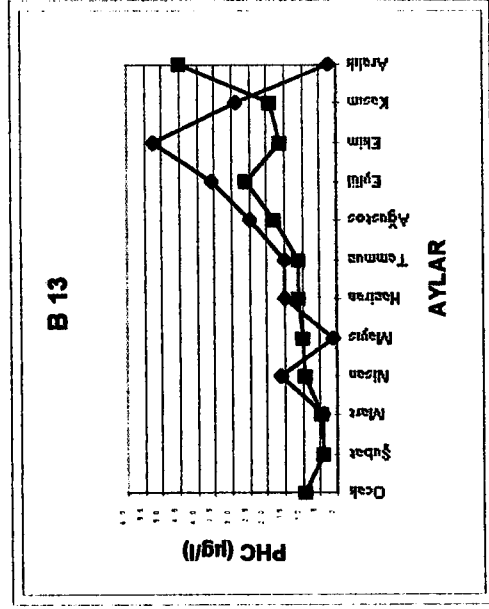
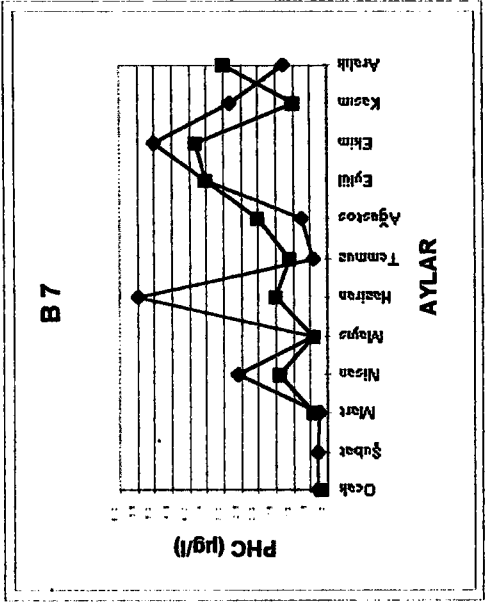
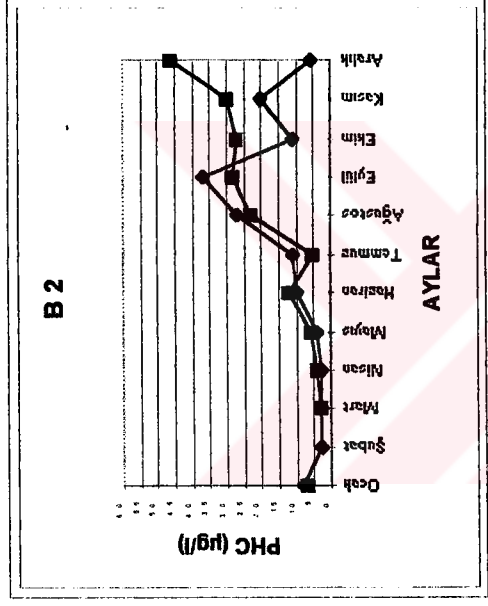
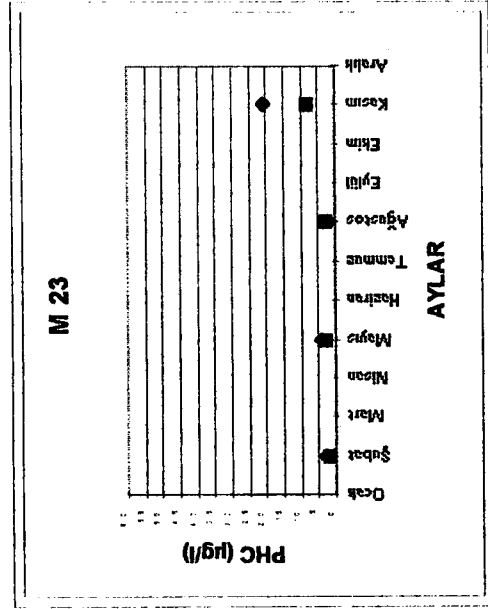


◆ 5 m. derinlik ■ 50 m. derinlik

Şekil 5.22. Boğaz boyunca Silikanın değişimi



Şekil 5.23. Boğaz boyunca $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ değişimi



◆ 5 m. derinlik ■ 50 m. derinlik

Şekil 5.24. Boğaz boyunca PHC değişimi

5.2.3. Marmara Denizi'nde su kalitesi

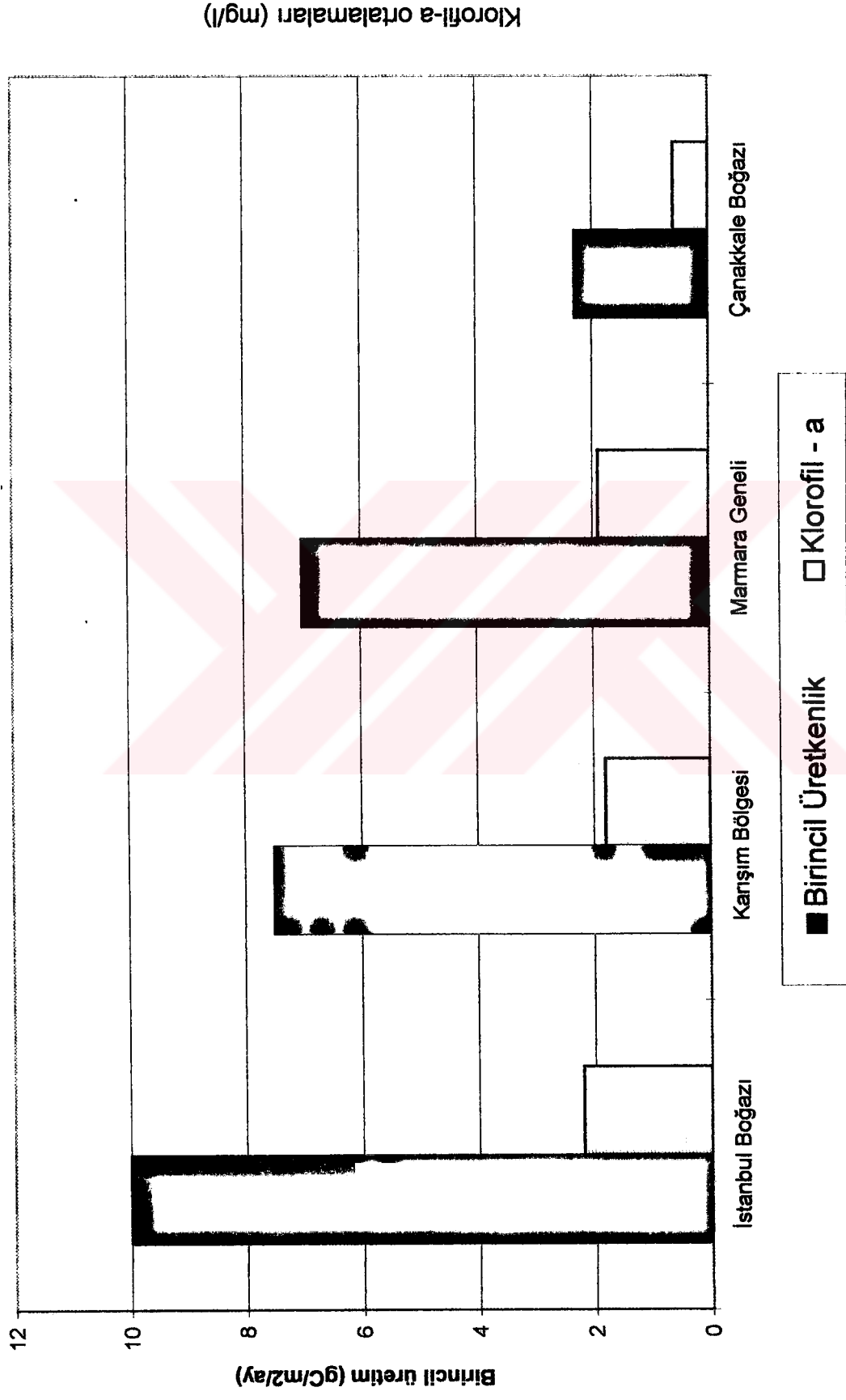
ODTÜ yaptığı çalışmalar sonucunda Marmara Denizi'nin alt tabaka sularının yenilenme süresini 5 - 7 yıl, üst tabaka sularının ise 3 ay olarak belirlemiştir. Bu değerlerin Karadeniz'de 2000 ve 500 yıl olduğu (İSKİ, 1997) göz önüne alınırsa, nedenli kısa olduğu anlaşılır. Zira Marmara Denizi suları Karadeniz'den İstanbul Boğazı yoluyla gelen ve üst tabakada yayılan oksijence zengin sularla, Çanakkale Boğazı yoluyla gelen ve alt tabakada yayılan yine oksijence zengin Ege sularının sayesinde devamlı bir yenilenme içindedir. Dolayısıyla Marmara Denizi su kalitesini etkileyen en önemli faktör, kendisini çevreleyen kıyılar ve İstanbul'dan gelen kontrolsüz kıyı deşarjları ve yağmur sularının atıksularla birleşip denize dökülmesidir.

ODTÜ, Marmara Denizi'nde, kıyıdan açıktaki, üst ve alt tabakada fekal koliform ölçümleri yapmıştır. Buna göre özellikle yaz aylarında ve Avrupa yakası açıklarında (hatta Beykoz'a kadar Boğaz boyunca) mikrobiyolojik kirlenme açıkça belirlenebilmektedir. Ancak bu kirlenme alt tabakada yoğun olup (Ahırkapı deşarjı nedeniyle) üst abakaya ve kışa doğru giderek azalmaktadır. Sonuç olarak Marmara Denizi sahil suları kıyı şeridinden gelişi güzel yapılan deşarjlarla yoğun şekilde kirlenmiştir. Koliform miktarları oldukça yüksektir.

Boğazlar ve Marmara Denizi'nde birincil üretkenlik ve klorofil-a değerleri Şekil 5.25'de verilmiştir. Ayrıca Marmara Denizi'nde trofik durumu belirleyen parametrelerin diğer denizlerle karşılaştırılması da Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

5.3. İstanbul Boğazı ve Çevresinde Ekolojik Durum

Yapılan araştırmalara göre, Dinyester ve Tuna nehirlerinin taşıdığı besi maddeleri nedeniyle büyük gelişim gösteren planktonlar ($0.5 \sim 2.0 \text{ gC/m}^2\text{-gün}$) İstanbul Boğazı yakınlarına ulaşıncaya kadar giderek azalmaktadır ($0.1 \sim 0.2 \text{ gC/m}^2\text{-gün}$) (İSKİ, 1997). Ancak Boğaz yoluyla taşınan bu planktonlar Marmara Denizi ekolojisini belirlemekte yeterli olmaktadır. İSKİ'nin raporuna göre Karadeniz'in İstanbul Boğazı üst suyu kanalıyla Marmara Denizi'ne boşalttığı yükler;

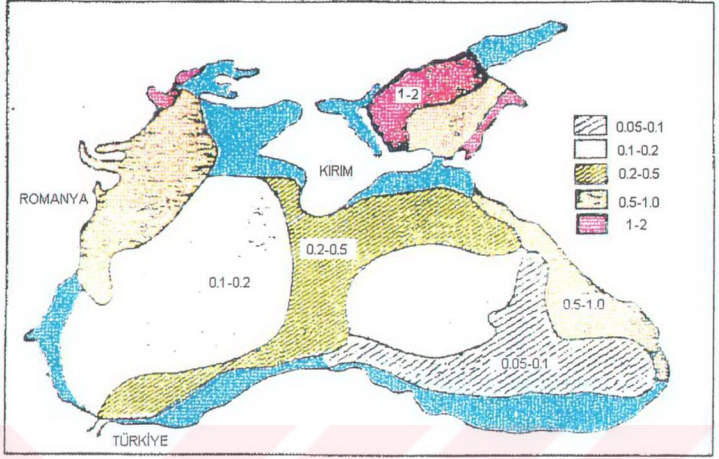


Şekil 5.25. Boğazlar ve Marmara Denizi'nde birincil üretkenlik ve klorofil-a değerleri

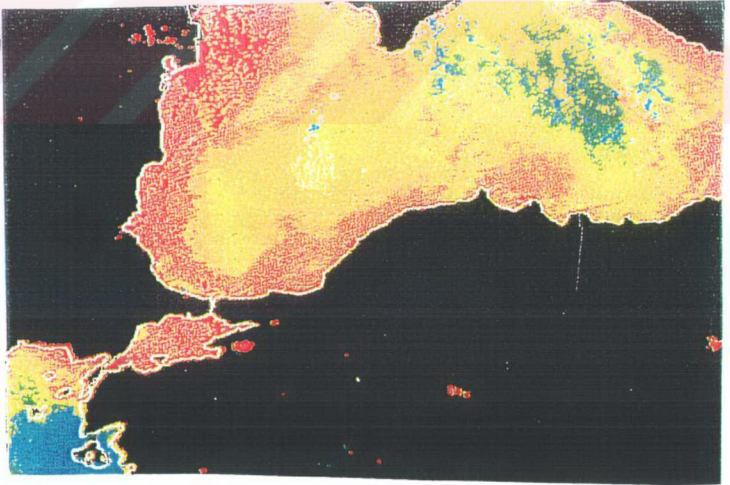
Tablo 5.14. Marmara Denizi'nde trofik durumu belirleyen parametrelerin diğer denizlerle karşılaştırılması. (İSKİ, 1997)

	Birincil Üretkenlik gC/m ² -gün	Klorofil - a µg/l	Toplam Fosfor µg/l	Toplam Azot µg/l	Sechi Diski Derinliği m
Marmara Denizi					
üst tabaka İÜDBE (1996)	0.02-1.00(0.55)	0.11-4.48(1.80) 0.5-2	0.02-12.4(6) 12-28	0.0-36.4(16) 113-410	4-12
alt tabaka İÜDBE (1996)		0.05-0.8	3.4-38.8(28) 22-42	19-2.00(128) 38-310	
Boğaz İÜDBE (1996)	0.06-1.30(0.33)	0.35-7.80(2.20) 0.2-2.3	0.93-44.64 7-50	1.12-210 30-360	2-7
Çanakkale Boğazı	0.03-0.26(0.07)	0.17-1.70(0.70)	1.95-20.20	16-110	
Karadeniz					
üst tabaka (1 st 100 m) İÜDBE (1996)	0.05-2.00	0.1-400 1.9-0.2	3-250(8) 3-45	7-100(30) 110-460	2-8
alt tabaka (100 m below)			250-300(124)	70-200 (140)	
Adriyatik kıyıları					
oligotrofik güney baseni			(0.93)*	(14)*	
oligotrofik orta basen			(1.55)*	(7)*	
kısmen ötrofik kuzey baseni		0.58-5.02(1.25)	0.31-5.82(3.72)*	0.14-312(21)*	
ötrofik kuzeybatı baseni			(9.30)*	(56)*	
hipertrofik kuzeybatı kıyıları			2-300	10-60	3-12
Dünyada çeşitli körfezler	0.03-1.67	1-57.5			
OECD göl sınıflaması					
mezotrofik		3-11(4.7)	10.9-95.6(26.7)	361-1387(753)	1.5- 8.1(4.2)
ötrofik		3-78(14.3)	16.2-386(84.4)	393-6100(1875)	0.8-7.0(2.5)
hipertrofik		100-150	750-1200		0.4-0.5

(*) Ortalama değerleri göstermektedir.



Şekil 5.26. Karadeniz'de birincil üretim ($\text{gC}/\text{m}^2/\text{gün}$) (1974) (İSKİ, 1997)



Şekil 5.27. Karadeniz'de plankton dağılımının uydu verilerinden elde edilmiş görüntüsü (1992) (İSKİ, 1997)

- günde 20 ton inorganik azot
- 20 ton fosfor
- 300 ton silika

olarak tahmin edilmiş ve bu yüklerin Tuna nehrinden Karadeniz'e boşaltılan

- günde 2000 ton inorganik azot
- 30 ton fosfor
- 100 ton silika

yüklerinin seyrelerek Marmara Denizi'ne taşınmasından kaynaklandığı öne sürülmüştür.

Zira bu iddaya göre İstanbul'da son derece büyük yatırımlarla gerçekleştirilecek üçüncü kademe arıtma ve deşarjlara rağmen, kontrolsüz olarak Karadeniz'den taşınan Tuna kaynaklı besin maddeleri ve planktonlar nedeniyle Marmara Denizi'nin trofik koşullarında beklenen iyileşme sağlanamayacaktır.

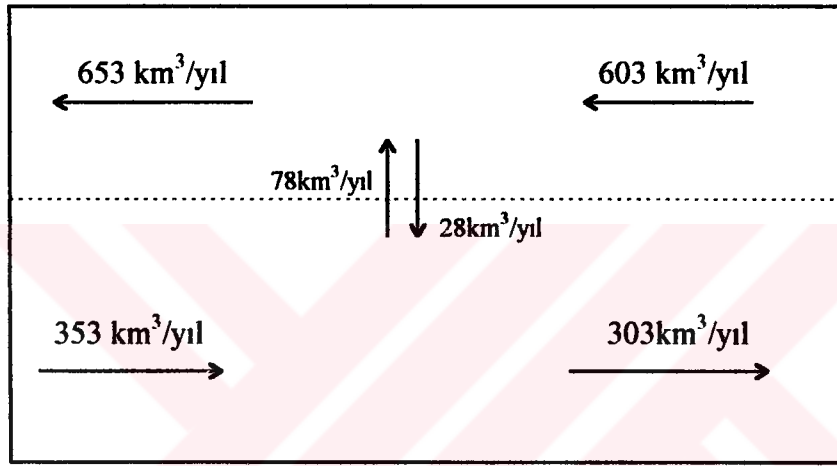
Karadeniz'de birincil üretim Şekil 5.26'da ve Plankton dağılımının uydu verilerinden elde edilmiş görüntüsü ise Şekil 5.27'de verilmiştir.

5.4. İstanbul Boğazı ve Çevresinde Kirletici Maddelerin Mevcut Su Kütlesi Akıntılarında Etkilendikten Sonraki Bilançoları

Bilançonun çıkarılmasında değişik araştırmacılar tarafından İstanbul Boğazı ve çevresinde yapılan debi ölçümlerinden ÖEJV'nin 1993 yılı raporundaki değerler (Şekil 4.31) kabul edilmiştir. Buna göre ; Boğaz'a Karadeniz kesitinde üst akıntı ile yılda ortalama $603 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=19100 \text{ m}^3/\text{sn}$) debi girmekte, Boğaz boyunca üst tabakadan alt tabakaya ortalama $28 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=890 \text{ m}^3/\text{sn}$), alt tabakadan üst tabakaya ortalama $78 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=2470 \text{ m}^3/\text{sn}$) geçiş olmakta ve böylece BMJ kesitinde Boğaz üst tabaka debisi $653 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=20700 \text{ m}^3/\text{sn}$) değerine yükselmektedir. Boğaz Marmara birleşim bölgesinde alt tabakadan üst tabakaya $140 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=4450 \text{ m}^3/\text{sn}$) geçiş sonucunda BMJ-Marmara kesitinde üst tabaka debisi $793 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=25160 \text{ m}^3/\text{sn}$) değerini almaktadır. Alt tabakada ise ortalama debiler Marmara - BMJ

enkesitinde $493 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=15640 \text{ m}^3/\text{sn}$), BMJ Boğaz enkesitinde $353 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=11190 \text{ m}^3/\text{sn}$) ve Karadeniz çıkışında $303 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ($=9600 \text{ m}^3/\text{sn}$) mertebelerindedir.

Şekil 5.28’de verilen alt ve üst tabaka debileri, İstanbul Boğazı su kütlesinin fosfor, azot ve toplam organik karbon bilançosu hesaplamalarında esas alınmıştır.



Şekil 5. 28. İstanbul Boğazı’ndaki su akıları

5.4.1. İstanbul Boğazı su kütlesinin toplam fosfor bilançosu

İstanbul Metropolü'nden kaynaklanan atıksu yükleri dikkate alınmadan oluşturulan bu şekle göre, Boğaz - Karadeniz bağlantı bölgesindeki üst tabaka fosfor, azot ve toplam organik karbon konsantrasyonlarının belirlenmesinde Polat ve Tuğrul tarafından 1995 yılında yaptıkları çalışmalarda konsantrasyonlar dikkate alınmıştır (Tablo 5.2). Bu durumda bu noktalardaki üst tabaka ortalama toplam fosfor konsantrasyonu 0.5 $\mu\text{mol P/l}$, BMJ - Marmara bağlantı bölgesindeki alt tabaka ortalama fosfor konsantrasyonu 1.11 $\mu\text{mol P/l}$ olarak bulunmuştur (Polat ve Tuğrul, 1995).

Bu değerlere göre hesaplanan Marmara Denizi - Boğaz fosfor bilançosu Tablo 5.15'de verilmiştir.

TABLO 5.15. Marmara Denizi - Boğaz toplam fosfor bilançosu

	Ortalama Debi $\text{km}^3/\text{yıl}$	Toplam Fosfor Konsantrasyonu ($\mu\text{mol/l}$)	Madde Transferi ton TP/y
Boğaz'a üst akıntı ile Karadeniz'den giren	603	0.5	9347
Boğaz'da üst akıntıdan alt akıntıya geçen	-28	0.5	-434
Boğaz'da alt akıntıdan üst akıntıya geçen	78	1.11	2684
BMJ-Marmara'da alt akıntıdan üst akıntıya geçen	140	1.11	4817
Marmara'ya giren yük			16414
Marmara'dan çıkan yük	493	1.11	16964
Marmara'dan net fosfor çıktısı			550

Bu hesaplara göre, Boğaz'daki alt-üst akıntı sistemiyle Marmara'dan yıllık ortalama değer olarak 550 ton/yıl fosfor Karadeniz'e atılmaktadır. Ayrıca üst akıntı ile Karadeniz'den gelen fosfor akısı (9347 ton/yıl) ile İstanbul Metropolü'nden kaynaklanan atık sularla sisteme verilen fosfor yükü (5840 ton/yıl) karşılaştırıldığında, Karadeniz'den gelen Toplam Fosfor yükü İstanbul kanalizasyon sisteminden atılanından 1.6 kat daha fazladır.

5.4.2. İstanbul Boğazı su kütlesinin toplam azot bilançosu

Boğaz - Karadeniz bölgesindeki üst tabaka ortalama $\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu 22.5 $\mu\text{mol TN/l}$, BMJ-Marmara bağlantı bölgesinde alt tabaka ortalama $\text{NH}_4+\text{NO}_2+\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonu 13.1 $\mu\text{mol TN/l}$ olarak bulunmuştur (Polat ve Tuğrul, 1995).

Bu değerlere göre hesaplanan toplam azot bilançosu Tablo 5.16'da verilmiştir.

TABLO 5.16. Marmara Denizi Boğaz toplam azot bilançosu

	Ortalama Debi $\text{km}^3/\text{yıl}$	Toplam Azot Konsantrasyonu ($\mu\text{mol/l}$)	Madde Transferi ton TN/y
Boğaz'a üst akıntı ile Karadeniz'den giren	603	22.5	189945
Boğaz'da üst akıntıdan alt akıntıya geçen	-28	22.5	-8820
Boğaz'da alt akıntıdan üst akıntıya geçen	78	13.1	14305
BMJ - Marmara'da alt akıntıdan üst akıntıya geçen	140	13.1	25676
Marmara'ya giren yük			221106
Marmara'dan çıkan yük	493	13.1	90416
Marmara'ya net toplam azot girdisi			130690

Bu tabloya göre, Marmara'ya Boğaz'daki alt-üst akıntı sistemiyle yıllık ortalama değer olarak 130690 ton/yıl net toplam azot girmektedir. Boğaz'a üst akıntı ile Karadeniz'den giren toplam azot akısı, (189945 ton TN/yıl) ile İstanbul Metropolünden kaynaklanan atıksularla sisteme verilen toplam azot yükü (30624 ton TN/yıl) karşılaştırıldığında, Karadeniz'den gelen azot yükünün İstanbul Metropolü'nden atılanından yaklaşık 6 kat daha fazla olduğu bulunmuştur.

5.4.3. İstanbul Boğazı su kütlesinin toplam organik karbon bilançosu

Daha önceki ölçümler ışığında üst ve alt tabakalardaki ortalama toplam organik karbon konsantrasyonları sırasıyla 212 $\mu\text{mol TOC/l}$ ve 78.2 $\mu\text{mol TOC/l}$ olarak bulunmuştur (Polat ve Tuğrul, 1995). Bu değerler esas alınarak hesaplanan Marmara Denizi - Boğaz toplam organik karbon bilançosu Tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17. Marmara Denizi Boğaz toplam organik karbon bilançosu

	Ortalama Debi $\text{km}^3/\text{yıl}$	TOK Konsantrasyonu ($\mu\text{mol/l}$)	Madde Transferi ton TOK/y
Boğaz’a üst akıntı ile Karadeniz’den giren	603	212	1534032
Boğaz’da üst akıntıdan alt akıntıya geçen	-28	212	-71232
Boğaz’da alt akıntıdan üst akıntıya geçen	78	78.2	73195
BMJ-Marmara’da alt akıntıdan üst akıntıya geçen	140	78.2	131376
Marmara’ya giren yük			1667371
Marmara’dan çıkan yük	493	78.2	462631
Marmara’ya net TOK girdisi			1204740

TOK hesaplaması sonucuna göre, Marmara’ya Boğaz’daki alt-üst akıntı sistemiyle yıllık ortalama değer olarak 1534032 ton/yıl toplam organik karbon Karadeniz’den girmektedir. Boğaz’a üst akıntı yolu ile Karadeniz’den giren TOK akısı 1534032 ton TOC/yıl civarındadır. Benefield ve Randall, (1980) evsel nitelikli atıksularda BOI_5/TOK oranını 1.5 olarak vermektedir. Bu durumda İstanbul kanalizasyon sisteminden atılan TOK miktarı 121423 ton/yıl ($\text{BOI}_5=499$ ton/gün) olmaktadır. Marmara’ya Karadeniz’den giren miktar, (1534032 ton/yıl) İstanbul Metropolü’nden kaynaklandığı hesaplanan atıksu kaynaklı TOK yükünün (121423ton/yıl) yaklaşık 13 katı civarındadır. Ayrıca, Marmara’ya giren net TOK miktarı (1204740 ton/yıl) İstanbul’dan kaynaklanan TOK yükünün 10 katına eşdeğer olduğu da ortaya çıkar.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile Marmara Denizi'nden oluşan Türk Boğazlar Sistemi, Karadeniz ile Akdeniz'i birbirine bağlayan ve dolayısıyla da her türlü su kütlesi hareketlerini kontrol eden önemli bir sistemdir. Uzun yıllar taşıdığı jeopolitik önemin yanısıra, özellikle Avrupa ve Rusya'da başlayan ve hızla devam eden endüstrileşme hareketleri sonucunda karşılaştığı çevre sorunlarıyla da ekolojik bir önem kazanmıştır.

İstanbul Boğazı su kütlesinin hareket ve kalitesini etkilemesi açısından Karadeniz'in akıntı, su seviyesi ve sıcaklık-tuzluluk değerleri önem taşır. Karadeniz'de kuzeyden güneye gidildikçe tuzluluk artar. Yaz aylarındaki aylık ortalama yüzey suyu tuzluluğu kış aylarına göre daha düşüktür. Düşük yüzey suyu tuzluluğu nehir girdileri nedeniyledir. Dolayısıyla, İstanbul Boğazı ve Karadeniz'de Şubat ayı ortalama sıcaklığın, Haziran ayı ise ortalama tuzluluğun en düşük olduğu aylardır.

İstanbul Boğazı'nda atmosferik basınçla su seviyesi değişimi arasında bir ilişki mevcuttur. Zira basınç değerlerinin yükseldiği, yani deniz yüzeyine atmosferik baskının arttığı durumlarda deniz seviyesi düşmektedir. Bu da Boğaz'daki su seviyesi değişimlerine dolayısıyla da akıntı hızlarına atmosferik basıncın ne kadar etkili olduğunun bir göstergesidir. Su seviyesindeki farkın 45 santimetrenin üstüne çıkması alt akımı, 10 santimetrenin altında kalması ise üst akımı tamamen bloke edebilir. Genellikle İstanbul Boğazı'nda Kasım ayında üst akımın blokajı, Nisan ayında da alt akımın blokajı mümkün gözükmektedir. Ayrıca İstanbul Boğazı su akıntılarının hızını Karadeniz ve Marmara Denizi'ndeki su seviyesi değişimleri de etkilemektedir. Bir diğer önemli faktörese rüzgar hızı ve yönüdür. Yapılan gözlemlere göre yıl içinde en az bir kaç kez bir kaç gün süren kuzeyli fırtınalar sırasında alt akıntı ve güneyli fırtınalar sırasında da üst akıntı engellenebilmektedir.

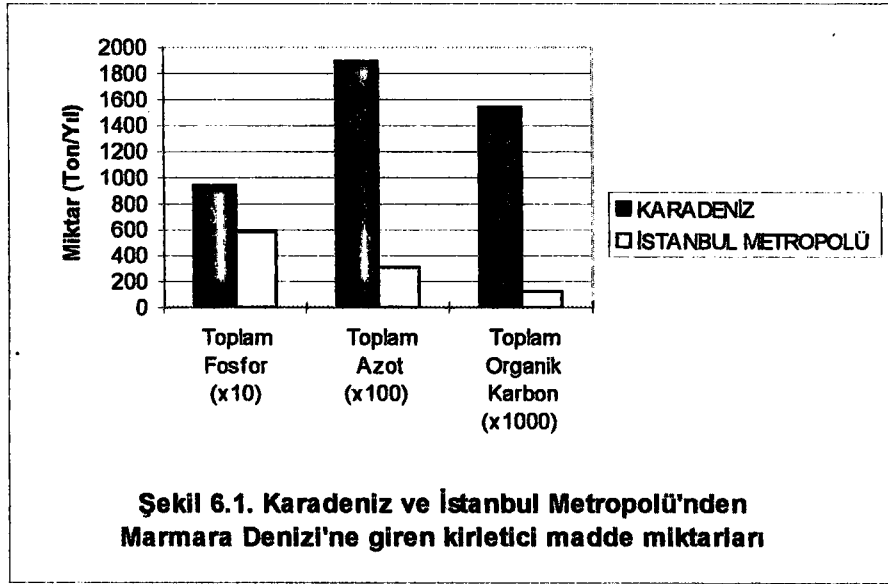
Karadeniz’le İstanbul Boğazı’nın birleştiği noktadaki 8 kilometre uzunluğunda, 75 - 80 metre derinliğinde ve 500 - 1000 metre genişliğindeki kanal, Boğaz alt akıntısını dışarı taşırmadan Karadeniz’e ulaştırmaktadır. Ancak tam Boğaz çıkışında kanal içindeki 60 metre derinlikteki eşik doğal bir engel teşkil ederek alt kintının önemli bir kısmının tekrar üst akıntıya karışarak Karadeniz’e çıkmasına engel olmaktadır. Yapılan ölçümlere göre alt akıntının % 20’si üst tabakaya karışarak Marmara’ya geri dönmektedir.

BMJ olarak tarif edilen, İstanbul Boğazı’nın Marmara Denizi’yle birleştiği bölgede ise Karadeniz’den gelen Boğaz yüzey akımı etkilidir. Ortalama 20000 m³/sn’lik bu akım, 700 km²’lik BMJ üst tabakasını en az 4 günde yıkayabilmektedir. Buna karşılık yaklaşık 500 km²’lik alt tabakanın, ortalama 8000 m³/sn’lik akım ile Boğaz alt tabakasına geçiş için en az 40 gün gerekmektedir.

İstanbul Boğazı ve çevresinde kirletici bütçesi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda şu sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 6.1. Karadeniz ve İstanbul Metropolü’nden Marmara Denizi’ne giren kirletici madde miktarları

	KARADENİZ (Ton/Yıl)	İSTANBUL METROPOLÜ (Ton/Yıl)	<i>Karadeniz İstanbul. Metropolü</i>
Toplam Fosfor	9347	5840	1.6
Toplam Azot	189945	30624	6.2
Toplam Organik Karbon	1534032	121423	13



Karadeniz'den Boğaz üst akıntısıyla Marmara'ya geleceği hesaplanan kirleticilerden toplam fosfor yükü İstanbul Metropolü'nden atılan toplam fosforun 1.6 katı, toplam azot yükünün 6.2 katı ve toplam organik karbon yükünün de 13 katı fazlasıdır. Kısacası, son yıllarda karşılaşılan Boğaz ve Boğaz-Marmara birleşim bölgesi kıyılarındaki aşırı kirlenme, bu bölgelere karalardan yapılan deşarjlarla verilen ve Karadeniz'den Boğaz üst akıntısıyla gelen nütrient yüklerinden kaynaklanmaktadır.

Ayrıca Boğaz boyunca üst ve alt akıntılarda yapılan ölçümlere göre, özellikle alt akıntıya deşarj yapılan Yenikapı gibi merkezlerde, üst akıntıdaki kirletici madde konsantrasyonlarında da sıçramalar gözlemlenmiştir. Bu da alt akıntıya verilen atıksuyun bu bölgelerde üst akıntıya da karışabileceği şüphesini doğurmaktadır.

Biyolojik arıtma tesisleri karbonlu organik maddeyi önemli ölçüde giderirken, nütrientlerin atıksudan giderimi için verimde aynı başarıyı sağlayamamaktadır. Ancak Marmara ve İstanbul Boğazı kıyılarında görülen bozunmanın esas sebebi atıksu kaynaklı organik madde olmayıp, Karadeniz'den gelen ve çok büyük miktarlara ulaşan toplam doğal organik karbon yüküdür. Bu yüzden İstanbul atıksularına uygulanacak biyolojik arıtma soruna yeterli bir çözüm olamayacaktır. Sadece kıyıya yakın deşarj noktalarında bu alanları etkilememesi için biyolojik arıtma önerilebilir. Karadeniz ülkeleri ve Tuna Nehri'ne kıyısı olan Avrupa ülkelerinin bu konuda dikkatleri çekilmelidir. Öte yandan Karadeniz'in doğal yapısından kaynaklanan doğal organik karbon yükünün ise bu gün için önüne geçebilmek teknolojik açıdan mümkün değildir. Yılın belli mevsimlerinde akıntıların durduğu ve yönlerinin değiştiği birkaç sayılı gün dışında, alt akıntının Karadeniz'e ulaşmasından istifade edilerek İstanbul Metropolü'nün atıksuları, Boğaz'da derin deniz deşarjı yapılarak doğal yollarla zaten kirli olan Karadeniz'e ulaştırılarak berteraf edilebilir. Ancak alt akıntının bloke olduğu yıl içindeki birkaç gün (özellikle Nisan ayı) çok iyi takip edilmeli ve bu konuda önlemler alınmalıdır.

İstanbul Metropolü atıksularına nütrient kontrolü yapılması daha büyük önem taşımaktadır. Zira Karadeniz'den gelen miktara yakın nütrient İstanbul atıksularından Boğaz'a ve Marmara'ya verilmektedir. Özellikle Boğaz deşarjları öncesinde ilk kademe kimyasal yöntemle fosfor giderimi düşünülebilir. Bu şekilde fosforun basit ve pratik bir şekilde giderilmesi mümkündür. Azotun giderimi, tesis işletiminin güçlülüğü ve pahalılığından dolayı daha zordur. Dolayısıyla sadece nispeten basit olan ve % 40 civarında BOİ₅ giderme verimine sahip önçöktürmede fosforun giderimi daha ekonomik bir çözüm sağlayacaktır. Bu sayede kıyı kesimindeki üretim de kontrol altına alınabilecektir.

KAYNAKLAR

- Andrussow, N., (1900), Kritische Bemerkungen über die Entstehungshypothesen des Bosporus und der Dardanellen, Sitzb. Nat. Ges. Jurjew (Dorpat), 18, s. 378 - 400.
- Aral, N. v.d., (1994), Denizlerimizde Atık Özümlene Kapasitesinin Tesbiti Projesi (Marmara Denizi Örneği) 1994 Yılı Sonuç Raporu, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Ardel, A. (1957), Umumi Coğrafya Dersleri, İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü.
- Arısoy, Y., (1995), İstanbul Boğazı'nda Yapılan Uzun Süreli Akıntı ve Deniz Seviyesi Gözlemlerinin Analizi, Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences, 19(1995) P.75-86, TÜBİTAK.
- Baran, İ. v.d., (1992), Current State of the Marmara Sea Ecosystem and Antropogenic Impact - First Report, Procter and Giamble - ACE, İstanbul.
- Benefield, L.D., and Randall, C. W., (1980), Biological Process Design for Wastewater Treatment, N. J./USA, Prentice-Hall, 62-77.
- Beşiktepe, S., (1991), Some aspects of the circulation and dynamics of the Sea of Marmara, Doktora Tezi, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, 226 sayfa, 1991.
- Bremmer, J. M., et. al., (1985), Total Nitrogen, Methods of Soil Analysis, part 1-2. Agronomy 9, Am. Soc. of Argon., Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Büyükközen, A., Yüce, H., Bayraktar, T., (1985), Akdeniz Suyunun İstanbul Boğazı Boyunca ve Karadeniz'de İncelenmesi, Doğa Bilim Dergisi.
- Camp - Tekser İstanbul sewerage Project Master Plan Revision, (1975).
- Codispoti, L.A., Friederich, G.E., Murray, J.W., Satamoto, C.M., (1991), Chemical Variability in the Black Sea: implications of data obtained with a continuous vertical profiling system that penetrated the oxic/anoxic interface, Deep Sea Research, Vol. 38, No. 2, pp. 691 - 710.
- Cvijic, J., (1908), Grundlinien der Geographie und Geologie von Mazedonien und Altserbien, Petermaanns Mitteilungen, Ergzh. 162.
- Çeçen, K.M. Beyazıt, Sümer, M., Güçlüer, Ş., Doğusal, M., Yüce, H., (1981), İstanbul Boğazı'nın Oşinografik ve Hidrografik Etüdü, I. TÜBİTAK Sulama Tesisleri Ünitesi Kesin Rapor No. 24, İ.T.Ü.
- DAMOC, (1971), Master Plan and Feasibility Study Report for Water Supply and Sewerage for İstanbul Region, Prepared for WHO, III, II.
- Darkot, B., (1938), Coğrafi Araştırmalar 1., İ.Ü. Edebiyat Fak. Coğrafya Enstitüsü.

De Filippi, G.L., L. Iovenitti and A. Akyarlı, (1986), Current Analysis in the Marmara Sea - Bosphorus Junction, 1 st AIOM (Associazione di Ingegneria Offshore e Marina) Congress, Venice, Italy, pp. 5 - 25.

Doğan, E. and Gönenç, İ.E., (1995), Metap Interim Report, Prepared for İSKİ and IBRD, İstanbul.

Doğan, E. and Gönenç, İ.E., (1994), Metap Initial Report, Prepared for İSKİ and IBRD, İstanbul.

Erinç, S., (1958), Karadeniz Dibinin Jeomorfolojisi, İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi, No 9, s. 103 - 114.

Erinç, S., (1987), Karadeniz Çanağının Jeomorfolojik ve Yapısal Özellikleri ve Morfometrisi, İ. Ü. Deniz Bilimleri Enstitüsü Bülteni, 1987.

Gönenç, İ.E. et all (1996) Remote Sensing Technology for Investigation of the Bosphorus - Black Sea Pollution and Danubee River Effect, Report prepared for İSKİ, İstanbul (Türkçe).

Gunnerson, C.G., Özturgut, E., (1974), The Bosphorus, E.T. Degens ve D.A. Ross, Editör. The Black Sea - Geology, Chemistry and Biology American Association of Petroleum Geologists, (Memoir 20).

Hernes, R., (1909), Die Bildung des Bosphorus und der Dardanellen, Sitzb. K. Akad. Wiss. Wien. Aabt. I, Bd. 118, 693 - 758.

İlgaz, O., (1994), Karadeniz'den İstanbul Boğazı'na Giren Sular Üzerine Notlar, Türk Kongr. Dergisi, Cilt 6.

İSKİ, (1997), Su Kalitesi İzleme Çalışması Sonuç Raporu, İstanbul Üniversitesi Araştırma ve Yardım Vakfı Eğitim Faliyetleri İşletmesi, İstanbul

İTÜ, (1993), Türk Boğazlar Sisteminin Uydu Görüntüleri, İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl., Fotogrametri Laboratuvarı, Ayazağa - İstanbul.

Kırkova, M.V., (1986), The Content of Inorganic Nitrogen Forms in the Upper Layer of the Black Sea in the Late Summer Period, Marine Ecology, Vol. 23, pp. 3 - 10.

Kor, N., (1992), Boğaziçi ve Çevresinde Su Kaynaklarının ve Denizin Kirlenmesi, İstanbul Boğazı ve Çevre Sorunları Sempozyumu TD 171.5 T92.

Latif, M. A., Özsoy, E., Salihoğlu, I., Gaines, A. F., Baştürk, Ö., Yılmaz, A., Tuğrul, S., Monitoring via direct measurements of the modes of mixing and transport of wastewater discharges into the Bosphorus underflow. ODTÜ-Institute of Marine Sciences, No. 92-2, Erdemli, 1992.

Latif, M.A. v.d., (1991), Observations of the Mediterranean Inflow into the Black Sea, 'Deep Sea Research, 38, Suppl.2, pp. 5711 - 5723.

Latif, M.A., (1990), Oceanography of the Turkish Straits - 3rd Annual Report, 1, IMS Middle East Technical University.

Mee, L.D., (1992), The Black Sea in crisis: The need for concerted international action, *Ambio*, Vol. 21, No. 4, pp. 278 - 286.

Meriç, S., (1990), Marmara Denizi'nde Kara Kökenli Kirlenme ve Sonuçları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

METU-IMS, (1987), İstanbul Sewerage Project, Oceanographic Investigations Relating to the Pre-and Post-Operation Conditions in the Bosphorus and the Surrounding Marmara Sea Region, Data Report, Project Code No. 85.07.1.06, August, 1987.

METU-IMS, (1987), İstanbul Sewerage Project, Oceanographic Investigations Relating to the Pre-and Post-Operation Conditions in the Bosphorus and the Surrounding Marmara Sea Region, Data Report, Project Code No. 85.07.1.06, March, 1987.

METU, (1987), İstanbul Kanalizasyon Projesi Atıksu Sistemlerinin İşletme Öncesi ve Sonrası Deniz Çalışmaları Bulgu Raporu, Proje Kod No. 85.07.1.06, Aralık, 1987.

METU-IMS, (1989), İstanbul Sewerage Project, Oceanographic Investigations Relating to the Pre-and Post-Operation Conditions in the Bosphorus and the Surrounding Marmara Sea Region, Data Report, Project Code No. 85.07.1.06, October, 1989.

METU, (1990), Physical Oceanography of the Turkish Straits in Oceanography of the Turkish Straits, Third Annual Report, Vol.1.

Oğuz, T., Ünlüata, Ü., Latif, M. A., Özsoy, E., Sur, H. I., (1990), Türk Boğazlar Sistemi'nin Fiziksel Oşinografisi, Uslu, O., Orhon, D., Ünlüata, Ü., Filibelli, A., İstanbul Boğazı Akıntılarının ve Kentsel Atıksularının Marmar Denizi Kirliliği'ne Katkılarının Bilançosu, Çevresel Değerlendirme Raporu İçinde, D.E.Ü. Müh. Mim. Fak.

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

Oğuz, T. v.d., (1990), Türk Boğazlar Sisteminin Fiziksel Oşinografisi. İstanbul Metropolinden 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), İSKİ, İstanbul.

ÖEJV, (1993), 3D Numerical Modelling of the Environmental Conditions of the Seas Around İstanbul - Interim Report, İSKİ, İstanbul.

Özsoy, E., Oğuz, T., Latif, M. A., Ünlüata, Ü., Sur, H.İ., Beşiktepe, Ş., (1987), Physical Oceanography of the Turkish Straits, Second Annual Report, Vol. I, Tables and Figures, METU-IMS.

Özsoy, E., Latif, M. A., Salihoglu, I., Beşiktepe, Ş., Gaines, A. F., Oğuz, T., Tuğrul, S., Baştürk, Ö., Saydam, C., Yılmaz, A., (1992), Monitoring via direct measurements of the modes of mixing and transport of wastewater discharges into the Bosphorus underflow: Bosphorus hydrography, currents, fluxes and acoustical, chemical and rhodamine-B dye tracer studies of the waste discharge, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli.

Pektaş, H., (1953), İstanbul Boğazı'nda ve Marmara Denizi'ndeki Yüzey Akıntıları, İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsü Yayını, Seri A, Cilt 1, No. 4, s. 154 - 169.

Pektaş, H., (1954), Boğaziçi'nde Satın Altı Akıntıları ve Su Karışımları, Hidrobiyoloji Mecmuası, Cilt 1, Sayı 1.

Philippson, A., (1898), Bosphorus und Hellespont. Geographische Zeitschrift IV, s. 16 -26.

Polat, Ç., Tuğrul, S., (1995), Karadeniz'den ve İstanbul Atıklarından Marmara Denizi'ne Taşınan Yıllık Fosfor, Azot ve Organik Karbon Yükleri, 'Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences' 19 s. 319 - 325, TÜBİTAK.

Sapozhnikov, V. V., (1990), Ammonia in the Black Sea, Oceanology, Vol. 30, pp. 39 - 42.

Shimkus, K. M. and Trimonis, E.S., (1974), Modern Sedimentation in Black Sea. The Black Sea: Geology, Chemistry, Biology (ed. E.T. Degens and D.A. Ross), pp. 249-278.

Shuisky, Y.D., (1993), The General Characteristic of the Black Sea Coasts 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. Ketchum (ed.), Amsterdam, 1983, Elsevier, 253-291.

Toula, F., (1901), Die geologische Geschichte des Schwarzen Meeres, Vereinz. Verbr. naturwiss. Kenntnisse. Wien, Bd. 41, Heft, 1.

Tuğrul, S., v.d., (1990), Marmara Denizi ve Türk Boğazlar Sistemi'nin Biyokimyasal Özellikleri, İstanbul Metropolü'nden Kaynaklanan Atıksu Kirlilik Yükleri ve İstanbul Boğazı Doğal Yüklerinin Bilançosu ve Bu Yüklerin Marmara Denizi'ne Etkileri Raaporu, (Ed. O. Uslu).

Ulliyott, P., Ilgaz, O., (1944), İstanbul Boğazı'nda Araştırmalar II, Boğazdaki Su Hareketleri Üzerinde Yeni Bir Hipotez, Türk Coğrafya Dergisi, Sayı 5-6, Ankara, 1944.

Ulliyott, P., (1953), Conditions of Flow in the Bosphorus, Publication of the Hydrobiological Research Institute, Faculty of Science, University of İstanbul, Vol. B3, pp. 199 - 214.

Uslu, U., Orhon, D., Ünlüata, Ü., Filibelli, A., (1990), İstanbul Boğazı Akıntılarının ve Kentsel Atıksularının Marmara Denizi Kirliliğine Katkılarının Bilançosu, Çevresel Etki Değerlendirme Raporu, D.E.Ü., Müh.-Mim. Fak.

Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M.A., Özsoy, E., (1990), The Physical Oceanography of the Straits, J. Pratt. (ed.), Vol. 318, Hollanda, Kluwer Academic Publishers, 25-60.

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, 1987.

Yüce, H. ve Türker, A., (1991), Marmara Denizi’nin Fiziksel Oşinografik Özellikleri ve Akdeniz Suyunun Karadeniz’e girişi. Uluslararası Çevre Sorunları Sempozyumu Tebliğleri Tutanakları (ed. K. Curi), s. 284-303, İstanbul Marmara Rotary Kulübü, İstanbul.

Yüce, H., Alpar, B., (1994), Investigation of Low Frequency Sea Level Changes at the Strait of İstanbul (Bosphorus), Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences 18 (1994) p. 233-238, TÜBİTAK.

Yüce, H., (1995), İstanbul Boğazı’nda Su Seviyesi Değişimlerini İncelenmesi, İ.Ü. Deniz Bilimleri Enstitüsü Bülteni.

WMT (Watson Motor Temel), (1986), İstanbul Sewerage Project, Stage 2 Feasibility Study and Preliminary Engineering Report, Vol. I, İSKİ.

Zambal, T. (1991), İstanbul Deniz Deşarjlarının Çevre Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü.



EKLER

**EK 1. B istasyonlarındaki 1987 yılı kimyasal bulguların ortalamaları
(METU - IMS, 1987)**

PARAMETRE																
I S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			CHL-a (µg/l)			TOK (mg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
B0	Ü	1,36	0,47	0,82	0,66	0,03	0,16	4,60	0,32	1,30	9,02	1,18	5,17	2,38	1,38	2,01
	A	0,56	0,41	0,48	1,33	0,08	0,89	12,2	1,00	8,50	0,38	0,36	0,37	1,38	0,52	0,78
B1	Ü	1,96	0,17	0,56	5,70	0,07	0,80	12,2	0,90	2,90	8,75	0,75	3,72	3,50	1,30	2,21
	A	1,87	0,33	0,80	1,22	0,08	0,68	12,5	0,72	7,45	10,4	0,27	2,83	2,46	0,61	1,39
B2	Ü	1,23	0,26	0,64	0,97	0,03	0,33	4,13	0,13	1,35	8,61	0,72	2,51	2,45	1,47	2,16
	A	0,71	0,14	0,51	1,11	0,03	0,40	11,8	0,46	4,53	5,33	0,30	2,18	2,18	0,66	1,44
B3	Ü	0,25	0,22	0,24	0,25	0,22	0,24							2,50	2,50	2,50
	A	0,44	0,23	0,34	0,44	0,23	0,34							2,02	0,83	1,52
B5	Ü	0,92	0,26	0,51	0,78	0,01	0,13	6,02	0,14	1,76	9,02	0,52	2,26	2,45	1,70	2,19
	A	0,62	0,06	0,38	1,09	0,01	0,50	11,3	0,33	5,37	4,51	0,18	1,44	2,33	0,70	1,25
B6	Ü	1,62	0,34	0,87	0,41	0,05	0,18	4,65	0,23	1,90				2,69	1,75	2,29
	A	0,61	0,45	0,52	0,94	0,16	0,53	8,16	2,28	5,97				1,65	0,50	0,87
B7	Ü	1,40	0,29	0,67	0,84	0,07	0,28	4,57	0,07	1,44				2,54	1,84	2,21
	A	0,79	0,52	0,63	0,79	0,39	0,54	8,34	2,26	4,95				1,77	0,57	1,09
B8	Ü	1,62	0,19	0,64	0,48	0,04	0,17	4,60	0,04	1,77				2,73	1,95	2,40
	A	0,53	0,38	0,48	0,48	0,16	0,38	6,60	2,31	3,97				2,15	1,50	1,86
B10	Ü	1,57	0,11	0,59	0,50	0,02	0,17	4,70	0,06	1,88				2,73	1,95	2,30
	A	1,28	0,40	0,68	8,83	0,07	0,32	8,15	1,32	4,91				2,05	0,90	1,38
B11	Ü	1,74	0,25	0,73	0,56	0,02	0,32	6,21	0,04	1,35				2,82	1,00	2,23
	A	0,63	0,48	0,56	0,38	0,18	0,28	4,55	2,86	3,94				2,10	1,15	0,87
B12	Ü	0,68	0,63	0,66	2,69	0,32	1,14	4,54	4,52	4,53				2,15	2,05	2,10
	A	0,82	0,56	0,64	0,62	0,22	0,38	4,99	2,94	4,09				2,25	1,17	1,82
B13	Ü	0,71	0,33	0,53	0,71	0,30	0,45	4,73	4,60	4,65				2,53	2,07	2,31
	A	0,68	0,52	0,58	0,42	0,12	0,22	5,12	3,53	4,30				2,37	1,25	1,84
B14	Ü	3,36	0,20	0,96	0,26	0,08	0,17	4,65	0,12	1,67	10,9	0,17	1,82	2,82	2,07	2,42
	A	0,81	0,16	0,42	0,85	0,08	0,48	9,32	0,06	4,18	1,71	0,46	0,90	2,38	0,74	1,58
B15	Ü	1,79	0,17	0,67	0,42	0,04	0,18	4,91	0,09	1,68	1,43	0,63	1,00	3,36	2,00	2,35
	A	1,12	0,14	0,46	7,17	0,03	0,91	9,94	0,03	5,11	2,95	0,35	0,93	2,32	0,74	1,65
K0	Ü	2,55	0,16	0,75	0,28	0,04	0,13	5,04	1,59	3,81	19,3	0,41	7,40	5,86	0,72	2,20
	A	0,75	0,41	0,60	0,75	0,06	0,21	7,50	0,60	2,37	1,50	0,97	1,24	1,94	0,93	1,70

**EK 2. M istasyonlarındaki 1987 yılı kimyasal bulguların ortalamaları
(METU - IMS, 1987)**

PARAMETRE																
I S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			CHL-a (µg/l)			TOK (mg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
E2	Ü	1,06	0,21	0,56	0,16	0,05	0,10	1,71	0,07	0,61	8,61	1,00	2,97	2,92	1,17	1,64
	A	0,94	0,00	0,38	1,21	0,12	0,86	13,3	1,95	9,80	3,13	0,27	1,00	1,40	0,41	0,73
M1	Ü	0,78	0,23	0,51	0,33	0,03	0,11	3,61	0,03	1,07	11,5	3,28	7,38	3,02	1,08	3,18
	A	0,63	0,63	0,63	2,83	2,83	2,83							0,90	0,90	0,90
M2	Ü	1,53	0,22	0,53	0,74	0,00	0,20	7,89	0,02	1,61	13,7	1,10	3,05	3,05	1,05	1,92
	A	0,66	0,16	0,38	1,23	0,04	0,98	14	6,93	10,9	5,74	0,25	3,06	0,08	0,52	0,64
M3	Ü	1,19	0,25	0,60	1,27	0,02	0,33	14,2	0,07	4,50	6,97	0,41	2,09	5,67	0,74	1,96
	A	0,71	0,09	0,44	1,21	0,33	0,76	9,26	2,92	5,82	1,02	0,72	0,81	3,19	0,59	1,47
M4	Ü	1,02	0,28	0,64	0,60	0,05	0,16	8,13	0,30	1,00	1,97	1,01	1,40	10	0,92	3,47
	A															
M5	Ü	0,74	0,32	0,57	0,33	0,09	0,20	3,43	2,80	3,11	2,34	2,34	2,34	2,29	1,25	1,86
	A															
M6	Ü	1,06	0,13	0,62	1,04	0,04	0,45	1,91	0,13	1,25	9,52	0,27	3,59	0,96	0,84	2,07
	A				0,75	0,75	0,75	5,87	5,87	5,87				0,63	0,63	0,63
M7	Ü	0,99	0,18	0,58	0,35	0,04	0,15	3,86	0,03	0,92	4,86	0,30	2,77	2,90	1,10	2,04
	A	0,47	0,47	0,47	0,64	0,27	0,46	9,28	0,38	5,75				1,00	0,50	0,68
M8	Ü	1,11	0,12	0,60	1,11	0,10	0,24	4,70	0,07	1,13	11,5	0,82	2,69	2,94	0,85	1,86
	A	0,64	0,02	0,37	1,18	0,09	0,96	12,5	0,06	9,54	0,98	0,21	0,46	1,37	0,38	0,68
M9	Ü	0,84	0,13	0,61	0,59	0,02	0,17	8,43	0,06	2,16	3,05	0,82	1,79	4,40	1,11	1,96
	A	0,66	0,22	0,44	1,26	0,27	0,92	14,2	2,98	10,4	0,78	0,34	0,46	2,23	0,53	1,07
M10	Ü	0,81	0,46	0,66	0,61	0,03	0,16	11,3	0,17	1,97				5,25	1,00	2,50
	A	0,56	0,37	0,47	0,87	0,57	0,74	12,4	6,19	8,75				6,32	0,38	1,30
M11	Ü	0,81	0,34	0,53	0,39	0,04	0,12	7,17	0,04	2,40				4,36	1,25	2,48
	A	0,73	0,27	0,44	1,20	0,79	1,01	13,6	6,69	11,1				0,65	0,55	0,60

EK 2. (devam)

PARAMETRE																
İ S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			CHL-a (µg/l)			TOK (mg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
M12	Ü	0,72	0,47	0,56	0,64	0,03	0,17	10,3	0,03	1,90	3,69	3,69	3,69	2,80	0,95	2,11
	A	0,59	0,21	0,44	1,18	0,22	0,82	13,2	3,31	9,56				1,13	0,45	0,73
M13	Ü	1,28	0,14	0,51	0,21	0,02	0,09	3,01	0,09	0,95	3,55	0,74	2,15	2,65	0,72	1,82
	A	0,66	0,00	0,41	1,20	0,34	0,89	12,5	1,31	9,44	0,16	0,16	0,16	1,00	0,53	0,87
M14	Ü	0,79	0,16	0,45	1,12	0,03	0,29	10,5	0,11	3,20	1,29	0,86	1,10	2,70	1,12	2,04
	A	0,43	0,06	0,25	1,17	0,72	0,94	13	7,48	10,5	1,35	0,53	0,91	1,55	0,53	0,77
M15	Ü	0,84	0,25	0,47	0,69	0,05	0,16	3,86	0,22	1,23	4,10	0,30	2,30	2,92	0,48	1,80
	A	0,65	0,37	0,48	1,18	0,19	0,83	13,3	7,67	11,1				2,35	0,46	1,00
M16	Ü	0,96	0,22	0,56	1,04	0,02	0,20	3,34	0,08	0,87	5,12	0,18	1,41	2,74	0,58	1,66
	A	0,87	0,11	0,36	1,28	0,14	0,93	12,8	1,90	10,5	4,10	0,20	1,12	2,77	0,39	0,72
M17	Ü	1,37	0,31	0,64	0,60	0,02	0,14	10,3	0,04	1,46	6,66	0,35	2,31	2,98	1,10	1,88
	A	0,79	0,15	0,42	1,30	0,15	0,92	14	4,45	10,5	1,19	0,14	0,35	1,48	0,39	0,69
M18	Ü	0,96	0,50	0,68	0,32	0,02	0,11	6,23	0,15	1,65	4,51	0,14	1,72	2,84	1,15	2,10
	A	0,47	0,20	0,31	1,26	0,48	0,93	13,4	6,48	11,1	0,41	0,21	0,31	1,07	0,40	0,60
M19	Ü	0,66	0,40	0,49	0,66	0,03	0,13	9,16	0,03	1,94				2,74	1,74	2,04
	A	0,84	0,18	0,40	1,21	0,76	1,00	13,6	8,24	11,5				0,90	0,44	0,59
M20	Ü	1,13	0,23	0,64	0,88	0,04	0,25	10,7	0,07	2,15	3,89	0,68	2,43	2,22	0,90	1,74
	A	0,62	0,18	0,35	1,20	0,31	0,94	14,7	6,61	10,7	0,41	0,16	0,29	1,64	0,45	0,72
M21	Ü	1,08	0,46	0,70	0,27	0,03	0,15	11,3	0,06	1,61	1,46	1,46	1,46	2,31	0,83	1,78
	A	0,67	0,16	0,37	1,25	0,72	1,05	14	9,48	11,3				1,20	0,42	0,69
M22	Ü	1,14	0,21	0,64	0,05	0,03	0,04	1,57	0,18	0,85	6,83	0,19	2,87	2,34	1,22	1,66
	A	0,76	0,02	0,38	1,34	0,01	1,03	13,7	3,40	10	2,52	0,16	0,58	0,94	0,26	0,51
45C	Ü	0,94	0,30	0,56	1,00	0,02	0,25	9,87	0,05	2,43	4,10	0,29	1,58	2,78	1,01	1,75
	A	1,03	0,13	0,40	1,25	0,55	1,02	12,2	0,97	9,83	0,85	0,08	0,35	1,40	0,31	0,58

**EK 3. B istasyonlarındaki 1988 yılı kimyasal bulguların ortalamaları
(METU - IMS, 1989)**

PARAMETRE																
I S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			TOK (mg/l)			CHL-a (µg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
B0	Ü	1,30	0,62	0,95	1,17	0,13	0,68	1,37	0,44	0,86	2,43	2,00	2,21			
	A	1,62	0,37	0,74	1,21	0,17	0,87	11,5	0,16	8,15	1,64	0,61	0,96			
B1	Ü	1,89	0,25	0,95	1,97	0,24	0,50	3,35	0,82	1,79	4,81	2,08	2,54	10,3	0,62	3,11
	A	1,27	0,53	0,73	1,15	0,27	0,58	11	0,82	5,38	2,41	0,30	1,47	4,37	0,16	1,66
B2	Ü	1,04	0,25	0,69	0,21	0,06	0,14	2,96	0,77	1,80	2,45	2,02	2,19	0,85	0,85	0,85
	A	0,74	0,04	0,43	1,23	0,19	0,75	11,2	1,97	7,32	2,10	0,33	0,89	2,20	0,10	0,93
B3	Ü	1,07	0,58	0,91	0,17	0,13	0,15	0,78	0,36	0,54	2,47	2,25	2,37			
	A	1,26	0,52	0,85	0,69	0,08	0,34	5,40	0,39	2,63	2,28	1,22	1,85			
B5	Ü	1,11	0,29	0,78	0,21	0,08	0,15	3,06	0,16	1,23	2,53	1,82	2,25	5,74	0,49	1,98
	A	1,54	0,06	0,67	1,19	0,14	0,65	11,1	0,29	5,88	2,42	0,36	1,42	7,65	0,14	1,18
B6	Ü	1,05	0,30	0,67	0,17	0,05	0,10	2,52	0,12	0,89	2,40	2,21	2,33			
	A															
B7	Ü	1,11	0,20	0,77	0,15	0,04	0,10	2,83	0,12	0,77	2,55	2,30	2,42			
	A															
B8	Ü	1,01	0,27	0,76	0,13	0,09	0,11	2,73	0,10	0,74	2,61	2,31	2,45			
	A															
B10	Ü	1,54	0,13	0,86	0,26	0,10	0,16	0,90	0,13	0,35	2,61	2,36	2,50			
	A															
B11	Ü	1,00	0,30	0,78	0,11	0,04	0,08	3,05	0,09	0,87	2,68	2,30	2,46			
	A	1,04	1,04	1,04	1,10	1,10	1,10	9,81	9,81	9,81	0,76	0,76	0,76			
B13	Ü	1,35	0,27	0,82	0,18	0,03	0,10	3,10	0,12	0,94	2,68	2,14	2,45	0,87	0,85	0,86
	A	0,98	0,60	0,78	1,14	0,19	0,80	9,90	1,54	6,99	2,12	0,74	1,20	0,68	0,03	0,42
B14	Ü	1,10	0,27	0,80	0,21	0,07	0,14	3,51	0,09	0,90	2,78	2,19	2,46	7,79	0,34	2,19
	A	1,30	0,25	0,75	1,13	0,07	0,43	10	0,07	2,66	2,57	0,75	1,94	7,29	0,20	1,58
B15	Ü	1,17	0,09	0,76	0,18	0,08	0,12	3,59	0,10	0,86	2,85	1,24	2,33	6,56	0,27	2,59
	A	1,54	0,23	0,71	1,20	0,07	0,54	10,8	0,11	2,93	2,56	0,54	1,93	6,97	0,98	3,45
K0	Ü	1,14	0,61	0,89	0,12	0,05	0,08	3,22	0,07	0,81	2,93	2,14	2,51	2,60	0,36	1,29
	A	1,33	0,12	0,63	1,12	0,11	0,74	10,4	0,10	3,23	2,54	0,66	1,81	1,64	0,16	0,72

**EK 4. M istasyonlarındaki 1988 yılı kimyasal bulguların ortalamaları
(METU - IMS, 1989)**

PARAMETRE																
I S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			CHL-a (µg/l)			TOK (mg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
E2	Ü	1,11	0,65	0,89	0,49	0,04	0,22	2,76	0,55	1,64	6,56	0,33	2,80	2,46	1,30	2,04
	A	1,22	0,28	0,62	1,24	0,15	1,00	11,8	0,22	9,87	6,97	0,25	1,97	1,78	0,31	0,93
M1	Ü	1,43	0,34	1,08	0,95	0,03	0,17	9,31	0,07	0,82	5,36	5,36	5,36	2,42	0,79	2,23
	A															
M2	Ü	1,33	0,54	1,03	0,85	0,06	0,24	9,34	0,08	1,30	5,47	1,64	3,54	2,63	0,72	2,07
	A	0,88	0,31	0,52	1,24	0,36	1,06	12	4,67	10,4	0,16	0,11	0,14	1,69	0,41	0,69
M3	Ü	1,14	0,51	0,88	0,47	0,09	0,26	4,71	0,23	1,78	5,94	0,41	3,47	2,37	1,44	1,98
	A	1,25	0,42	0,77	1,25	0,96	1,12	12,1	9,85	11	4,29	0,18	1,58	0,73	0,47	0,62
M4	Ü	1,68	0,84	1,10	0,66	0,08	0,20	0,74	0,08	0,27				3,08	1,81	2,34
	A															
M5	Ü	1,30	0,68	1,09	1,18	0,08	0,21	8,02	0,07	1,36				2,58	0,78	2,26
	A															
M6	Ü	1,41	0,42	0,96	0,31	0,07	0,20	0,63	0,10	0,35				2,71	1,83	2,41
	A	0,64	0,64	0,64	1,06	1,06	1,06	9,58	9,58	9,58				0,71	0,71	0,71
M7	Ü	1,35	0,51	0,88	0,14	0,05	0,10	1,03	0,08	0,27				2,79	1,95	2,36
	A	0,51	0,31	0,38	1,17	0,80	1,02	11,5	8,92	10,6				0,75	0,31	0,46
M8	Ü	1,00	0,31	0,79	0,96	0,03	0,20	9,68	0,07	2,62	6,01	1,02	2,74	2,41	0,72	2,05
	A	0,93	0,27	0,47	1,17	0,12	0,94	11,4	0,19	9,26	3,83	0,09	1,13	2,36	0,53	0,87
M9	Ü	1,75	0,50	0,98	0,70	0,03	0,24	6,39	0,07	1,82	7,17	0,34	1,54	2,57	1,19	1,95
	A	0,65	0,47	0,55	1,26	0,85	1,08	11,6	9,22	10,6	2,25	0,12	0,70	0,93	0,46	0,66
M10	Ü	1,16	0,56	0,85	1,08	0,09	0,23	8,53	0,07	1,15				2,53	0,75	2,16
	A	0,98	0,44	0,71	1,19	0,28	0,74	12,2	1,70	6,95				1,92	0,60	1,26
M11	Ü	1,43	0,80	1,70	0,16	0,05	0,10	0,20	0,08	0,15				2,57	1,74	2,26
	A	0,88	0,33	0,50	1,22	0,68	0,93	12	6,89	9,98				1,01	0,30	0,59

EK 4. (devam)

PARAMETRE																
İ S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			CHL-a (µg/l)			TOK (mg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
M12	Ü	1,60	0,31	1,15	1,03	0,04	0,26	9,13	0,09	1,29				3,00	0,66	2,18
	A	0,61	0,27	0,40	1,19	0,98	1,07	12,4	9,31	10,7				0,63	0,36	0,51
M13	Ü	1,56	0,38	0,84	1,07	0,05	0,25	9,52	0,09	1,79	8,2	0,68	3,19	3,24	0,79	2,16
	A	0,82	0,22	0,41	1,29	0,85	1,15	11,7	8,46	10,9	0,14	0,08	0,11	1,02	0,28	0,63
M14	Ü	1,30	0,40	0,90	0,76	0,06	0,17	3,68	0,08	0,78				2,60	0,95	2,24
	A	0,51	0,20	0,33	1,28	0,72	1,05	11,4	8,08	10				0,65	0,26	0,48
M15	Ü	1,08	0,35	0,76	0,99	0,03	0,16	7,05	0,07	1,38				2,47	0,78	2,22
	A	0,80	0,28	0,44	1,25	0,52	1,10	11,8	4,65	9,47				1,13	0,27	0,56
M16	Ü	1,27	0,16	0,79	0,90	0,05	0,19	8,19	0,09	1,88	6,83	0,27	2,60	2,49	0,66	2,00
	A	0,93	0,28	0,53	1,26	0,59	1,09	11,7	1,59	10,7	0,45	0,00	0,21	1,87	0,53	0,75
M17	Ü	1,46	0,44	0,94	1,00	0,05	0,28	7,4	0,11	2,04	5,53	0,29	2,45	2,43	0,76	1,87
	A	1,10	0,25	0,60	1,19	0,89	1,09	11,7	7,84	10,8	0,70	0,06	0,25	0,83	0,28	0,59
M18	Ü	1,17	0,33	0,95	0,15	0,11	0,14	0,65	0,06	0,20	2,01	0,30	1,10	2,66	1,41	2,26
	A	0,60	0,27	0,46	1,21	0,94	1,06	11,9	9,65	10,7	0,36	0,14	0,22	0,79	0,25	0,50
M19	Ü	1,20	0,36	0,96	0,83	0,03	0,19	7,70	0,08	0,57				2,74	0,77	2,22
	A	0,58	0,37	0,49	1,17	0,93	1,07	11,8	6,64	10,4				0,76	0,33	0,54
M20	Ü	1,33	0,54	1,06	0,92	0,06	0,26	8,73	0,08	1,44	1,85	1,19	1,52	2,88	0,64	2,23
	A	0,61	0,35	0,44	1,33	0,96	1,19	12,2	8,55	10,7	0,11	0,11	0,11	0,69	0,28	0,49
M21	Ü	1,26	0,44	1,02	0,93	0,06	0,23	8,22	0,06	1,12				3,02	0,60	2,22
	A	0,97	0,31	0,48	1,25	0,51	0,10	11,9	6,17	9,94				1,28	0,40	0,58
M22	Ü	1,35	0,42	0,93	1,06	0,09	0,29	10,3	0,07	1,63	8,83	0,19	2,40	2,49	0,62	2,00
	A	1,60	0,29	0,63	1,26	0,11	1,07	12,1	6,87	10,9	0,63	0,07	0,24	1,18	0,51	0,67
45C	Ü	1,56	0,48	1,00	0,94	0,13	0,40	0,98	0,09	2,13	8,12	0,13	2,00	2,31	0,46	1,87
	A	1,50	0,31	0,55	1,24	0,14	1,03	12,2	6,98	10,6	0,35	0,08	0,16	0,83	0,31	0,59

**EK5. B istasyonlarındaki 1989 yılı kimyasal bulguların ortalamaları
(METU -IMS, 1989)**

PARAMETRE																
İ S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			CHL-a (µg/l)			TOK (mg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
B0	Ü	1,21	0,54	0,76	0,92	0,35	0,57	7,04	0,16	2,91				2,01	1,24	1,78
	A	0,65	0,45	0,55	1,39	1,01	1,22	11,3	7,05	9,59				0,69	0,58	0,63
B1	Ü	1,33	0,52	0,93	1,12	0,10	0,65	3,13	2,45	2,79				2,65	1,92	2,37
	A	0,75	0,58	0,67	1,53	1,11	1,25	11,4	1,75	6,57				0,68	0,54	0,61
B2	Ü	0,90	0,67	0,72	6,37	0,31	0,34	2,70	0,37	1,74				2,05	1,97	2,00
	A	0,67	0,56	0,62	0,52	0,28	0,40	4,68	2,82	3,75				1,93	1,63	1,78
B3	Ü				0,69	0,51	0,62	0,25	0,17	0,20				2,45	0,52	1,50
	A				0,93	0,93	0,93	4,18	4,18	4,18				2,54	2,54	2,54
B4	Ü	0,84	0,74	0,78	0,38	0,29	0,33	2,25	0,39	1,57				2,44	1,90	2,08
	A				0,27	0,27	0,27	2,27	2,27	2,27				1,75	1,75	1,75
B5	Ü	0,96	0,70	0,75	0,48	0,22	0,33	2,57	0,28	1,31	5,33	1,35	2,72	2,69	1,96	2,22
	A	0,85	0,54	0,73	1,32	0,24	0,69	10,7	1,24	4,78	2,13	0,29	1,26	2,05	0,66	1,28
B6	Ü	0,95	0,75	0,85	0,29	0,28	0,29	2,24	0,28	1,24				2,34	2,01	2,11
	A				0,74	0,74	0,74	3,81	3,81	3,81				0,80	0,80	0,80
B7	Ü	0,84	0,61	0,75	0,34	0,19	0,28	2,15	0,25	1,13				2,35	2,03	2,15
	A															
B8	Ü	0,80	0,61	0,70	0,36	0,16	0,27	2,16	0,23	0,94				2,37	2,03	2,14
	A				0,83	0,83	0,83	4,45	4,45	4,45				0,75	0,75	0,75
B10	Ü	0,95	0,65	0,71	0,45	0,11	0,25	2,06	0,22	1,27	3,94	3,40	3,67	2,37	2,02	2,15
	A	0,93	0,60	0,63	1,12	0,30	0,67	9,21	2,04	4,06	0,53	0,53	0,53	2,04	0,81	1,18
B11	Ü	0,72	0,65	0,69	0,31	0,12	0,23	2,15	0,19	1,01	5,87	5,87	5,87	2,40	2,06	2,17
	A				0,73	0,73	0,73	4,38	4,38	4,38				0,84	0,84	0,84
B12	Ü													2,34	2,34	2,34
	A				0,20	0,20	0,20	0,62	0,62	0,62				2,04	2,04	2,04
B13	Ü	0,93	0,69	0,87	0,42	0,13	0,23	2,22	0,43	1,56	1,4	1,40	1,40	2,38	2,03	2,15
	A	0,85	0,58	0,76	0,41	0,25	0,37	3,22	1,73	2,54				2,04	1,56	1,79
B14	Ü	0,93	0,67	0,73	0,46	0,12	0,28	2,09	0,18	1,45	3,98	1,95	3,08	2,47	2,05	2,17
	A	0,89	0,46	0,74	1,09	0,21	0,58	8,99	0,23	3,05	2,14	1,78	1,96	2,08	0,76	1,56
B15	Ü	0,80	0,52	0,70	0,32	0,10	0,24	2,14	0,14	1,12	3,38	1,43	2,72	2,49	2,01	2,20
	A	0,59	0,58	0,59	0,68	0,15	0,34	6,03	0,26	2,23				2,05	1,01	1,82
K0	Ü	0,65	0,73	0,87	0,37	0,08	0,20	2,08	0,28	0,93	4,65	3,94	4,30	2,60	2,09	2,21
	A	0,80	0,65	0,76	1,09	0,26	0,50	10	0,78	3,32	0,33	0,33	0,33	2,10	0,88	1,54

**EK 6. M istasyonlarındaki 1989 yılı kimyasal bulguların ortalamaları
(METU - IMS, 1989)**

[illegible]

EK 6. (devam)

PARAMETRE																
İ S T		HM (mg/l)			PO ₄ -P (µg-at/l)			NO ₃ +NO ₂ -N (µg-at/l)			CHL-a (µg/l)			TOK (mg/l)		
		max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort	max	min	ort
M12	Ü	0,94	0,78	0,87	0,44	0,15	0,32	1,22	0,12	0,49				2,16	2,11	2,14
	A				1,05	1,05	1,05									
M13	Ü	0,84	0,70	0,79	0,58	0,14	0,38	2,84	0,12	0,47	4,59	4,59	4,59	2,48	1,40	2,13
	A	0,56	0,50	0,53	1,19	0,74	1,00	10,9	5,00	8,57	0,12	0,12	0,12	1,02	0,44	0,63
M14	Ü	0,83	0,78	0,80	0,47	0,09	0,35	2	0,13	0,85				2,31	1,34	2,04
	A				1,13	1,05	1,10	9,25	7,04	8,51				0,45	0,45	0,45
M15	Ü	1,05	0,67	0,82	0,39	0,16	0,32	1,65	0,12	0,69	5,33	5,33	5,33	2,27	1,82	2,06
	A				1,15	0,84	1,06	9,49	2,45	7,56				0,65	0,49	0,54
M16	Ü	0,93	0,67	0,81	0,48	0,06	0,29	2,59	0,11	1,06	5,60	0,91	3,20	2,33	1,57	1,94
	A	0,69	0,33	0,51	1,21	0,76	1,80	11,3	0,60	8,88	0,46	0,20	0,34	1,25	0,47	0,68
M17	Ü	0,93	0,35	0,73	0,54	0,08	0,32	2,68	0,07	1,10	4,48	0,02	2,46	2,28	1,33	1,87
	A	0,70	0,17	0,50	1,29	0,81	1,07	11,3	3,50	6,51	1,37	0,33	0,59	1,12	0,44	0,67
M18	Ü	0,95	0,56	0,78	0,36	0,05	0,28	0,99	0,08	0,38	6,97	6,97	6,97	2,23	1,36	1,96
	A				1,13	0,87	1,08	9,26	3,93	7,24				0,53	0,50	0,52
M19	Ü	0,82	0,63	0,75	0,53	0,16	0,30	1,24	0,07	0,39				2,22	1,56	2,03
	A				1,13	0,94	1,06	9,09	2,76	6,3				0,58	0,50	0,55
M20	Ü	1,00	0,93	0,96	0,43	0,10	0,27	0,58	0,11	2,24	9,02	9,02	9,02	2,27	1,85	2,13
	A	0,60	0,43	0,53	1,28	0,99	1,10	10,7	3,60	9,4	0,25	0,25	0,25	0,86	0,50	0,66
M21	Ü	0,84	0,67	0,76	0,43	0,09	0,27	1,81	0,12	0,69				2,25	1,48	1,99
	A				1,20	1,08	1,14	8,64	5,99	7,7				0,55	0,51	0,53
M22	Ü	0,67	0,67	0,67	0,32	0,05	0,25	2,9	0,11	1,51				2,28	1,26	2,07
	A				1,14	0,87	1,08	9,79	7,51	8,83				0,49	0,39	0,45
45C	Ü	0,78	0,72	0,75	0,37	0,05	0,22	2,33	0,13	0,56	7,13	1,05	4,09	2,25	0,87	1,63
	A	0,54	0,33	0,45	1,30	0,86	1,12	11,2	6,28	9,28	0,14	0,12	0,13	0,61	0,42	0,50

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Tarihi 6/5/1971

Doğum Yeri İstanbul

ÖĞRENİM DURUMU

1986 - 1989 Kabataş Erkek Lisesi

1990 - 1995 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi
Çevre Mühendisliği Bölümü

GÖREVİ

1997 - Devam ediyor Özel bir firmada imalat sorumlusu

YABANCI DİL

İngilizce