

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE
ARKTİK BÖLGESİ VE ANTARKTİKA KITASINDAKİ
DENİZ BUZLARININ BELİRLENMESİ

NURCİHAN DERNEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

GEBZE

2017

T.C.

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİYLE
ARKTİK BÖLGESİ VE ANTARKTİKA
KITASINDAKİ DENİZ BUZLARININ
BELİRLENMESİ**

NURCİHAN DERNEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI

DANIŞMAN

PROF.DR. TAŞKIN KAVZOĞLU

II. DANIŞMAN

DOÇ.DR. BURCU ÖZSOY

GEBZE

2017

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DETERMINATION OF SEA ICE IN ARCTIC
REGION AND ANTARCTIC CONTINENT BY
REMOTE SENSING METHODS**

NURCİHAN DERNEK

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF GEOMATIC ENGINEERING

GEODETIC AND GEOGRAPHIC INFORMATION

TECHNOLOGIES PROGRAM

THESIS SUPERVISOR

PROF.DR. TAŞKIN KAVZOĞLU

II. THESIS SUPERVISOR

DOÇ.DR. BURCU ÖZSOY

GEBZE

2017



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 29/06/2017 tarih ve 2017/35 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/10/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Nurcihan DERNEK'in tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(DANIŞMANI)

: Prof.Dr. Taşkın KAVZOĞLU

ÜYE

(II. DANIŞMANI)

: Doç.Dr. Burcu ÖZSOY

ÜYE

: Doç.Dr. Cemal Özer YİĞİT

ÜYE

: Yard.Doç.Dr. Tuğba KEÇECİ

ÜYE

: Yard.Doç.Dr. İsmail ÇÖLKESEN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

.....
Gebze Teknik Üniversitesi

..... Enstitüsü Müdürü

ÖZET

1973'te NASA tarafından ele alınan, Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO), Dünya Denizcilik Örgütü (IMO) ve diğer dünya kuruluşları tarafından takip edilen ve desteklenen ‘‘Deniz Buzu’’ alansal değişimleri tespiti, özellikle son dönemlerde büyük önem kazanmıştır. Uzun yıllara dağılan deniz buzu değişimlerinin tespiti büyük alanlar söz konusu olduğundan yersel ölçümler ile gelişen teknolojiye rağmen çok güç yapılabilmesine karşın uzaktan algılama yöntemleriyle sağlanmaktadır. Uzaktan algılama yöntemleri, yatay levhalar halinde uzanan deniz buzlarının alanlarının belirlenmesinin yanı sıra deniz buzu tiplerinin belirlenmesinde de büyük önem kazanmaktadır. Küresel iklim değişikliğinden etkilenen deniz buzullarının belirlenmesinde etkin olarak kullanılması nedeniyle çok miktarda yayın ve bilimsel proje çalışması bulunmaktadır.

Arktik bölgesi ve Antarktika kıtası deniz buzu fiziksel özelliklerinin, çeşitlerinin ve boyutlarının farklı olması, araştırmaların amacına bağlı olarak farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılmasına neden olmaktadır. Bu tezde, Arktik bölgesi ve Antarktik kıtası deniz buzu konsantrasyonundaki değişikliklerin VIR ve mikrodalga uydu sensörleri ile saptanması ele alınmıştır. Bu sebeple, öncelikle deniz buzu tipleri, uzaktan algılama cihazları ve yöntemleri tanıtılarak, deniz buzu konsantrasyonu istatistik verilerin üretildiği algoritmalar anlatılmaktadır. Deniz buzu konsantrasyonundaki zamana bağlı olarak meydana gelen değişiklikleri saptamak ve bir taban oluşturmak için 2010 ile 2011 yılları arasında elde edilen 639 adet Arktik ve 639 adet Antarktik AMSR-E pasif mikrodalga uydu görüntüleri ve NASA algoritmaları ile elde edilmiş istatistik konsantrasyon verileri kullanılmaktadır. Proje çalışmasında 1278 uydu görüntüsü istatistik verisi yorumlanarak deniz buzu alanları hesaplanmış ve grafiklerle ifade edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre 2010 ile 2011 yılları arasında deniz buzu alanları bir önceki yıla oranla daha az olduğu ve mevsim değişikliği nedeniyle Arktik bölgesi kış mevsiminde deniz buzları artarken aynı tarihte Antarktik kıtası yaz mevsimindedir ve deniz buzu azalmaktadır. Aynı tarihlerde bir kutupta kaybedilen deniz buzu alanlarının diğer kutupta kazanılmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deniz Buzu, AMRS-E, Pasif Mikrodalga, Deniz Buzu Konsantrasyonu, Arktik, Antarktika

SUMMARY

Determining the areal changes in “Sea Ice”, which was addressed by NASA in 1973, followed by the World Meteorological Organization (WMO), the International Maritime Organization (IMO) and other organizations, has particularly become significantly important in the recent years. The changes in sea ice last years and since it happens over a very large amount of area, terrestrial measurement is carried out with great difficulties in spite of advancing technology. In this case, this practice can be carried out with remote sensing. Remote sensing methods are becoming more significant for determining the sea ice types as well as the sea ice areas which lay as horizontal plates. Since it is used actively in determining the sea ice which is affected by the climate change, there is a large amount of publications and scientific projects regarding remote sensing.

Since the physical features, types and dimensions of sea ice is different in the Arctic region and the Antarctic continent; different remote sensing methods are used depending on the purpose of research. The determination of sea ice concentration changes in the Arctic region and the Antarctic continent through VIR and microwave satellite sensors is addressed in this thesis. For this reason, types of sea ice, remote sensing devices and methods as well as algorithms which are used to obtain statistical data of sea ice concentration are introduced in the beginning. 639 Arctic and 639 Antarctic AMSR-E passive microwave satellite images which were taken between 2010-2011 and statistical concentration data which was obtained through NASA algorithms are used for the purpose of determining the time-based changes in sea ice concentration and form a basis. During the project, 1278 satellite image statistic data was interpreted, the sea ice areas were calculated and they were described with graphs. According to the results of the research, sea ice areas are lesser between 2010 and 2011 when compared with the period of the previous year. Additionally, the research shows that due to the change in seasons sea ice increases in the Arctic region in winter while the Antarctic is in summer in the same period and sea ice decreases in the Antarctic. It was also found that the sea ice which is lost in one pole is not compensated in the other pole.

Key Words: Sea Ice, AMRS-E, Passive Microwave, Sea Ice Consantration, Arctic, Antarctica

TEŞEKKÜR

Başta, eğitim konusunda beni yüreklendiren ve 1985’de şehit olmasına rağmen eğitim ve iş hayatımda hep yanımda olduğunu hissettiğim sevgili babama,

Maddi, manevi ellerinden geleni esirgemeyen anneme ve kardeşlerime,

Yüksek lisans öğrencisi olarak beni kabul etmesi ve tezimin oluşmasında tecrübelerini, bilgisini, zamanını paylaşan, değerli danışmanım Prof.Dr. Taşkın Kavzoğlu’na,

Yüksek lisans eğitimine başlamam konusunda beni yüreklendiren, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen tezin oluşumunda proje çalışmalarını yönlendiren değerli eş danışmanım Doç.Dr. Burcu ÖZSOY’a,

Uydu görüntüleri ve ders notlarını paylaşan Hamburg Üniversitesi öğretim görevlisi Dr. Stefan Kern’e,

MTA Deniz Araştırmaları Dairesin’de çalıştığım sürelerde uluslararası eğitim ve görevlere layık gören değerli Genel Müdürümüz Yusuf Ziya COŞAR ve Genel Müdür Yardımcımız Kerim SARIKAVAK’a,

Son olarak, göstermiş olduğu destek ve sabırdan dolayı sevgili eşim Süreyya Yılmaz Dernek’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. DENİZ BUZU TİPLERİ	4
2.1. Deniz Buzu	4
2.2. Deniz Buzu Tipleri	7
2.2.1. Buz Çiçekleri	8
2.2.2. Yağ Buz	8
2.2.3. Kar buz	9
2.2.4. Islak Buz	10
2.2.5. Buz Kalıbı (Buz Pidesi)	10
2.2.6. Nilas	11
2.2.7. Gri-Beyaz Buz	13
2.2.8. Beyaz Buz (İlk Yıl Buzu)	13
2.2.9. Eski Buz	14
2.2.10. Karaya Bağlı Buz	15
3. UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ İLE DENİZ BUZU GÖZLEMLERİ	16
3.1. Deniz Buzunu Tespit Eden Uydu Sensörleri	16
3.2. VIR- Görülebilir ve Kızılötesi Radyometre	17
3.3. Mikrodalgalar	18
3.3.1. Aktif Mikrodalga Sistemleri	18
3.3.1.1 Yapay Açıklıklı Radar (SAR)	20

3.3.1.2. Radar Altimetreleri	20
3.3.2. Pasif Mikrodalga Sistemleri	23
3.3.2.1. Siyah Cisim	24
3.3.2.2. Planck Kanunu	25
3.3.2.3. Rayleigh-Jeans Kanunu	25
4. DENİZ BUZU KONSANTRASYONU	26
4.1. Görölür-Yakın Kızılötesi Radyometre ile Konsantrasyon Belirleme	26
4.2. Pasif Mikrodalgalarla Konsantrasyon Belirleme	27
4.3. Deniz Buzu Konsantrasyonu ve AMSR-E	30
5. DENİZ BUZU KONSANTRASYONU VE AMSR-E	33
UYGULAMALARI	
5.1. Bir Günlük AMSR-E Deniz Buzu Konsantrasyonu Görüntüsü ve İstatistiksel Değerlendirmesi	33
5.2. Aylık Tablolar ve Grafikler	41
5.3. Antarktik ve Arktik Bölgelerine Ait Deniz Buzu AMSR-E Görüntüleri	63
6. TARTIŞMALAR	65
7. SONUÇLAR	67
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	73
EKLER	74
Diğer Ekler (CD)	

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

C	: Konsantrasyon
c	: Işık hızı = 2.9979×10^8 m/s
C_p	: Özgül ısı
f	: Frekans
h	: Planck sabiti = $6.62606957(29) \times 10^{-34}$ j.s
k	: Boltzmann sabiti = $1.380 6504(24) \times 10^{-23}$ j.K-1
T	: Yüzeydeki yapıdan yayılan sıcaklık.
T_b	: Parlaklık sıcaklığı.
ρ	: Yoğunluk
ϵ	: Dielektrik sabiti
θ	: Açıklık açısı
AMSR-E	: Gelişmiş mikrodalga tarama radyometre - yer gözlem sistemi
BBA	: AMSR-E konsantrasyonu için 1.algoritma
DEM	: Sayısal arazi modeli
FY	: İlk yıl buzu
GHz	: Giga hertz
HH	: Yatay ve yatay elektromanyetik alan vektörünün polarizasyonu
HV	: Yatay ve dikey elektromanyetik alan vektörünün polarizasyonu
Km	: Kilometre
MODIS	: Orta çözünürlük görüntüleme spektral radyometresi
MY	: Çok yıllık buz
NT2	: AMSR-E konsantrasyonu için 2. algoritma
NASA	: Amerikan ulusal havacılık ve uzay dairesi
NSICDS	: Amerikan ulusal kar ve buz veri merkezi
OW	: Açık su
PSU	: Pratik tuzluluk ölçeği
SAR	: Yapay açıklıklı radar
VV	: Dikey ve dikey elektromanyetik alan vektörünün polarizasyonu

VH : Dikey ve yatay elektromanyetik alan vektörünün polarizasyonu
VIR : Görünür-yakın kızıl ötesi radyometre
U.S.NSI : Amerika birleşik devletleri ulusal kar ve buz merkezi
WMO : Dünya meteoroloji örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: a) Suyun sıcaklık-hacim ve b) Sıcaklık-öz kütle ilişkisi.	5
2.2: Yaşlarına bağlı ve diğer fiziksel özelliklere göre deniz buzu sınıflandırılması.	7
2.3: Buz çiçekleri fotoğrafı.	8
2.4. Yağ buz fotoğrafı.	9
2.5: Kar buz fotoğrafı.	9
2.6: Islak buz fotoğrafı.	10
2.7: Buz kalıbı fotoğrafı.	11
2.8: Koyu nilas fotoğrafı.	12
2.9: Açık nilas fotoğrafı.	12
2.10: Gri-beyaz buz fotoğrafı.	13
2.11. Beyaz buz fotoğrafı.	14
2.12. Eski buz fotoğrafı.	14
2.13: Karaya bağlı buz fotoğrafı.	15
3.1: Elektromanyetik spektrum.	17
3.2: Aktif mikrodalga yöntemi.	19
3.3: a) Pürüzsüz ve b) Pürüzlü yüzeylerde mikrodalga emisyonu.	21
3.4: Çoklu yönlerden gelen ve tek doğrultuda saçılan radyasyon.	21
3.5: QuikSCAT uydusu 19.05.2003 Antarktika radar görüntüsü.	23
3.6: Siyah cisim.	24
4.1: AMSR-E pasif mikrodalga görüntüsü ve MODIS-VIR.	27
4.2: 23.07.2004 tarihindeki AMSR-E sensörünün tarama alanı şeridi.	30
5.1: a) Antarktik ve b) Arktik AMSR-E deniz buzu konsantrasyon verisi deniz buzu konsantrasyonu görüntüsü.	34
5.2: AMSR-E raster grid kesiti ve deniz buzu konsantrasyonu yüzdesi.	34
5.3: 2010 ocak ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.	42
5.4: 2010 şubat ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.	43
5.5: 2010 mart ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.	44
5.6: 2010 nisan ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.	45
5.7: 2010 mayıs ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	46

5.8: 2010 haziran ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	47
5.9: 2010 temmuz ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	48
5.10: 2010 ağustos ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	49
5.11: 2010 eylül ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	50
5.12: 2010 ekim ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	51
5.13: 2010 kasım ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	52
5.14: 2010 aralık ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	53
5.15: 2011 ocak ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	54
5.16: 2011 şubat ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	55
5.17: 2011 mart ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	56
5.18: 2011 nisan ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	57
5.19: 2011 mayıs ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	58
5.20: 2011 haziran ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	59
5.21: 2011 temmuz ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	60
5.22: 2011 ağustos ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	61
5.23: 2011 eylül ayı deniz buzu konsantrasyon alanı grafiği.	62
5.24: a) 24.08.2010 tarihli Antarktik maksimum ve b) 19.09.2010 tarihli Arktik minimum konsantrasyonlu AMSR-E görüntüleri.	63
5.25: a) Arktik ve b) Antarktik deniz buzu alanlarının birbirlerine eşit olduğu 20.12.2010 tarihli görüntüleri.	63
5.26: a) 21.02.2011 tarihli Antarktik minimum ve b) 09.03.2011 tarihli Arktik maksimum konsantrasyonlu AMSR-E görüntüleri.	64
6.1: 01.01. 2010 ve 30.09.2011 tarihleri aralığındaki deniz buzu konsantrasyon alanı.	65
7.1: 01.01.2010 ve 30.09.2011 tarihleri arasındaki küresel deniz buzu konsantrasyon alanı.	69

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Tatlı su buzı için, sıcaklık, yoğunluk, ısı iletkenliği ve özgül ısı değeri.	6
3.1: Kutup bölgelerinde radar geri saçılımında kullanılan bantlar, frekansları ve dalga boyları.	22
5.1: AMSR-E raster grid kesiti ve deniz buzı konsantrasyonu yüzdesi.	35
5.2: 01.01.2010 tarihli AMSR-E Antarktik deniz buzı konsantrasyonu istatistiksel verileri.	36
5.3: 01.01.2010 tarihli AMSR-E deniz buzı piksel sayısı ve konsantrasyon alanı.	41
5.4: 2010 ocak ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	42
5.5: 2010 şubat ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	43
5.6: 2010 mart ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	44
5.7: 2010 nisan ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	45
5.8: 2010 mayıs ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	46
5.9: 2010 haziran ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	47
5.10: 2010 temmuz ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	48
5.11: 2010 ağustos ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	49
5.12: 2010 eylül ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	50
5.13: 2010 ekim ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	51
5.14: 2010 kasım ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	52
5.15: 2010 aralık ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	53
5.16: 2011 ocak ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	54
5.17: 2011 şubat ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	55
5.18: 2011 mart ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	56
5.19: 2011 nisan ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	57
5.20: 2011 mayıs ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	58
5.21: 2011 haziran ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	59
5.22: 2011 temmuz ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	60
5.23: 2011 ağustos ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	61
5.24: 2011 eylül ayı deniz buzı konsantrasyon alanı verileri.	62

1. GİRİŞ

Dünyanın en soğuk noktaları olan Arktik ve Antarktik bölgeleri, 90^0 kuzey kutup noktasından, $60^030'$ kuzey enlemini ve 90^0 güney kutup noktasından $60^030'$ güney enlemini kapsayan bölgeler olarak tanımlanmaktadır. Arktik bölgesi, çoğunluğu okyanus olan Asya, Avrupa ve Amerika kıtası ana karaları ve adalarından oluşmaktadır. Antarktik bölgesi Antarktika kıtası ve kıtayı çevreleyen okyanus olarak tanımlanır. Kutup bölgelerinin büyük bir bölümü buzul ve deniz buzlarıyla çevrilidir. Deniz buzları mevsimsel olarak değişkenlik göstermektedir. Bir kutupta yazken diğer kutupta kış olması sebebiyle bir kutupta erime başlarken diğer kutupta donma gerçekleşmektedir. Aynı anda iki kutup okyanuslarında bulunan deniz buzu yaklaşık 25 milyon km^2 olarak hesaplanmaktadır.

Güneş ışınları kutup bölgelerine, ekvatorial bölgelere kıyasla daha yatay bir açıyla ulaşmaktadır. Kutup bölgelerinin soğuk ve ekvatorial bölgelerin sıcak olmasının başlıca nedeni güneş ışınlarının geliş açısı olarak bilinmektedir. Güneş ışınları yerde rastladığı her maddede soğurulur ya da farklı oranlarda ve yönlerde yansımalar oluşturur. Deniz buzunun yüzeyine çarpan güneş ışığının hemen hemen hepsi uzaya yansır. Bunun sebebi deniz buzunun yüksek albedosu (çok beyaz) olmasıdır. Yüksek albedo, kutup bölgelerini soğuk tutmaya yardımcı olur, çünkü uzaya yansıyan güneş ışığı yüzeyi ısıtmaz. Yer kürede yılda iki defa gündüz ve gecenin eşit olduğu 20 Mart ve 22 Eylül tarihleri “Ekinoks” bahar noktası olarak tanımlanmaktadır. 20 Mart ekinoksundan itibaren kuzey kutbu bölgesinde hava ısınmaya başlar ve kısa bir süre içinde buzların bir kısmı eriyerek yansıtıcı olmayan açık sulara dönüşmektedir. Yansıtıcı yüzeyin azalması bölgedeki ısı artışını tetikler ve erime daha da artar. 20 Mart ekinoksu, güney kutbunda sonbahar noktası olarak bilinmektedir. Isı düştükçe deniz buzu oluşumu artar ve albedo sayesinde güneş ışınlarının neredeyse hepsi uzaya yansımakta ve ısı daha da düşmektedir. Bu döngü, atmosfer dolaşımını nihai olarak eviren, olumlu bir geri bildirim olarak düşünülmektedir. Atmosfer ve okyanus, ısı motorları olarak hareket ederek, ısıyı kutuplara doğru itmekte ve her zaman sıcaklık dengesini düzeltmeye çalışmaktadırlar. Özellikle de kış mevsiminde, kutup bölgelerinde soğuk olan yüksek basınç merkezinden alçak basınç merkezine doğru zemin ve zemine yakın kesimlerde bir hava akımı meydana gelmektedir [Web 1, 2012]. Alçak basınç

sistemi, atmosfer dolaşımıyla tıpkı güçlü rüzgarlar gibi, sıcaklığı iki kutba taşımaktadır. Buna karşın okyanuslar, atmosferik dolaşıma nazaran ısıyı daha yavaş veya daha şiddetli nakletme eğilimindedir. Deniz buzu miktarındaki değişiklik, atmosfer ve okyanus sirkülasyonu etkilenecek ve kutupların ısı değişimini etkilemektedir [Web 2, 2017].

Kutup bölgelerinde kış döneminde yersel deniz buzu gözlemleri günümüzde bile çok zor gerçekleşmektedir. Deniz buzları kilometrelerce sert bir levha halinde bulunabilmektedir. Bu sebeple kutup bölgelerinin iç kısımlarına ulaşmak için buzkıran gemileri öncülüğünde buz sınıfı gemiler ile seyir yapılmaktadır. Bahar dönemlerinde değişen kapanan veya açılan yeni rotaların hızlı bir şekilde elde edilmesi uzaktan algılama yöntemleriyle kolaylıkla sağlanmaktadır. Uzaktan algılama yöntemleri bu tür alanlarda hayati önem kazanmaktadır. Çeşitli uydular, uçaklar helikopterler ve günümüzde insansız hava araçları kullanılarak ulaşılamayan kutup bölgelerindeki deniz buzları hakkında (tip kalınlık, yaş) ve yeni açılan ya da kapanan rotalar hakkında oldukça geniş yelpazede veri akışı sağlanmaktadır [Ozsoy, 2014].

Arktik ve Antarktik deniz buzları kendi içlerinde birbirlerinden farklılık gösterdiği gibi uzaktan algılama teknikleriyle parametreleri tespit edilse bile her bir uydudan alınan verilere uygulanan algoritmalar da kendi içinde tutarsızlıklar ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, Aqua uydusu AMSR-E pasif mikrodalga parametreleri değerlendirilerek, algoritmalar tanıtılmış ve eksikleri ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, AMSR-E pasif mikrodalga buz konsantrasyon verileri, uzaktan algılama yazılımlarında işlenerek deniz buzu konsantrasyonu hesaplanmıştır. 2010-2011 yıllarına ait 21 ay süresince mevsimlere bağlı olarak, günlük deniz buzu alanları ve değişim eğilimleri hesaplanarak kıyaslanmıştır.

1.1. Tezin Amacı, Literatüre Katkısı ve İçeriği

Bu tezde, pasif mikrodalga radyometreleri ile konsantrasyon verileri değerlendirilmiştir. Bu sayede iki kutba ait deniz buzu konsantrasyon alanları hesaplanmıştır. İklim değişikliği, tek başına meteoroloji, jeoloji ve deniz buzu hesaplarıyla belirlenemeyecek kadar geniş bir konu olduğundan, çok sayıda disiplinin bir araya gelerek oluşturduğu iklim modeline, veri girdisi bakımından katkı

sağlaması hedeflenmektedir. Ayrıca deniz buzu konsantrasyonu ve deniz buzu tiplerinin pasif mikrodalga dışında aktif mikrodalga ve VIR görüntüleri ile belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar hakkında da bilgi sağlamaktadır. Gelecekte zamana bağlı, iklim ve oşinografi ve buz bilimi çalışmalarında kutup bölgelerinde uzaktan algılama yöntemleri ile yapılabilecek çalışmalar için bilgi ve metotları içermektedir. 30 Ekim 2011 tarihinden sonra AMSR-E uydu sensörü bozulduğu için, 2012 yılından günümüze deniz buzu konsantrasyon verisini AMSR-2 sensörü toplamaktadır. Son 5 yıllık pasif mikrodalga verilerinin konsantrasyon alanının çalışılması için gerekli literatür taraması ve veri işleme yöntemleri hakkındaki bilgiler Türkçe kaynak olarak tezde bulunmaktadır. Ayrıca daha önce yapılmış deniz buzu konsantrasyon üzerine görülebilir sensörler ile yapılan [Williams et al., 2002] ICEMAPPER çalışması ve [Long, 2003] ait Radar çalışmasına yer verilmiştir. Pasif mikrodalgalar ve konsantrasyon konusunda [Cavalieri et al., 1984], [Steffen and Schweiger, 1991] ve [Ozsoy, 2014] yayınına yer verilmiştir. Deniz buzu konusunda yeni araştırma konuları önerileri sonuç ve tartışmalar bölümünde yer verilmiştir.

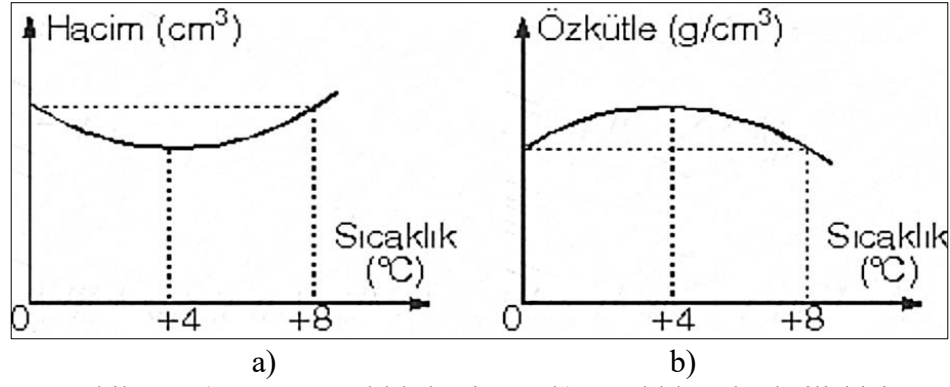
2. DENİZ BUZU TİPLERİ

Deniz buzları yaş, kalınlık ve fiziksel biçimlerine göre kendi içinde farklılıklar göstermektedir. Deniz buzun tuzlu ve yüzer halde olması, kara buzullarından ayıran en temel özelliktir ve fiziksel biçimlerindeki farklılığın en önemli nedenidir.

2.1. Deniz Buzu

Deniz Buzları, okyanuslarda doğmakta, büyümekte ve ölmektedirler. Tuzluluk, yoğunluk, kristal yapısı, deformasyon, topografya, kalınlık, kar örtüsü, sıcaklık profili, elektriksel yalıtkanlığı bakımından diğer buzlara göre farklılıklar göstermektedir. Deniz buzları, bazen küçük buz kristalleri halinde, bazen de karaya tutunan levhalar halinde okyanus suyunun üzerinde yüzmektedirler. Altındaki okyanus suyunun tuzlu ve kaldırma kuvvetinin tatlı suya göre çok olması buzun suda yayılma eğilimi artırmaktadır. Bu eğilim deniz buzunu yatay levhalar halinde biçimlendirmektedir. Her ne kadar su yüzeyinde yüzeler de buzdağları, deniz buzu değildirler. Çünkü karada oluşurlar ve buzulların erimesiyle karadan koparak su yüzeyinde dikey hacimle yüzerler.

Kutup bölgelerindeki okyanus suları, sıcak denizlerle ilişkili ve çok derin topografik yapıya sahiptirler. Derin deniz suyunun $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmemesinin nedenlerinden biri, deniz yüzeyinin aksine deniz derinleştikçe suyun tabanına doğru basınç artmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.1'de görüleceği üzere, donma noktasına yaklaştıkça hacim büyümektedir. Yüksek basınç altındaki okyanus suyu hacmini büyütemediği için sıcaklığını $+4^{\circ}\text{C}$ olarak koruyarak en düşük hacimde kalmak istemektedir.



Şekil 2.1: a) Suyun sıcaklık-hacim ve b) Sıcaklık-özkütle ilişkisi.

Deniz buzu, kara buzundan ve tatlı su buzundan pek çok konuda farklılık göstermektedir. Kara buzu, dağların zirvelerindeki buzullar, buz tabakaları ve buz shelflerinden oluşmaktadırlar. Kutup bölgelerindeki kara buzu ve göl buzları dünyanın en büyük tatlı su kaynaklarıdır. Deniz buzlarının ise deniz suyu kadar olmasa da tuzluluk oranı yüksektir. Arktik ve Antarktik kara buzlarının, iklim değişikliği sebebiyle eridikleri bilinmektedir. Deniz buzları kara buzlarına göre oldukça farklı erime ve donma eğilimi göstermektedir. Kara buzullarının erimesi suya daha çok tatlı su ilave edecektir. Tatlı su yoğunluğu akıntıları ve buz oluşumlarını etkilediği bilim insanları tarafından tahmin edilmektedir [Ozsoy, 2014].

Deniz buzu, göl buzları ve arasındaki farklılık tuzluluk, donma noktası, yoğunluk iletkenlik açılarından değerlendirilmiştir. Tuzluluk nedeniyle göl ve kara buzlarından farklılıklar göstermektedir. Suyun tuzluluk oranı arttıkça donma noktası daha da düşmektedir. Tatlı su 0° C'nin altında donarken 30-34 PSU civarındaki deniz suyu, -1.8 °C'nin altında donmaktadır. Deniz buzunun tuzluluğu zamana bağlı olarak azalmaktadır. Deniz suyu donmaya başlarken hala tuzludur. Genç deniz buzlarında, deniz suyu kadar olmasa da bir miktar tuz bulunurken eski deniz buzlarında gözenekler oluştuğu için tuz zamanla akıp gitmektedir. Eski buzlar aynı zamanda dünyanın büyük tatlı su rezervlerindendir [Kern, 2010].

Tablo 2.1: Tatlı su buzı için, sıcaklık, yoğunluk, ısı iletkenliği ve özgül ısı değeri.

Sıcaklık - t - (°C)	Yoğunluk - ρ - (kg/m ³)	Isı İletkenlik - k - (W/mK)	Özgöl Isı - c _p - (kJ/kgK)
0.01	999.8		
0	916.2	2.22	2.050
-5	917.5	2.25	2.027
-10	918.9	2.30	2.000
-15	919.4	2.34	1.972
-20	919.4	2.39	1.943
-25	919.6	2.45	1.913
-30	920.0	2.50	1.882
-35	920.4	2.57	1.851
-40	920.8	2.63	1.818
-50	921.6	2.76	1.715

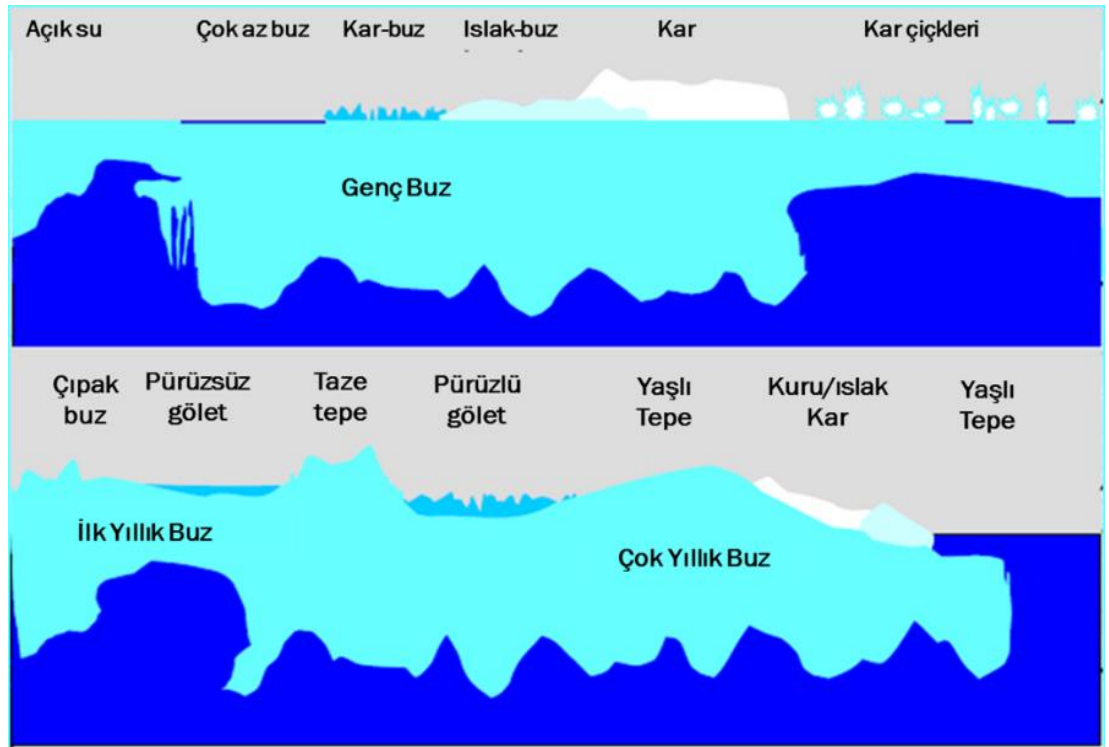
Tablo 2.1’de ifade edildiği üzere su donma noktası sıcaklığına düştüğünde maksimum yoğunluğa ulaşmaktadır [Web 3, 2017]. Su yüzeyinde deniz dibindeki kadar yüksek basınç olmadığı için, sıcaklık düştükçe hacmi büyümektedir. Sıcaklık düştükçe hacim büyümekte ve buzun yoğunluğu da azalmaktadır. Göl buzlarının ve kara buzullarının dondukça ısı iletkenlikleri artmaktadır.

Deniz suyu da donma noktasının altındaki ısılarda, ısı düştükçe hacmi büyür ve yoğunluğu azalmaktadır. Ancak eşit ısılarda deniz buzunun yoğunluğu, tatlı su buzunun yoğunluğundan fazla olduğu bilinmektedir. Örneğin: 34.4 PSU değeriinde deniz suyu, sıcaklık yaklaşık -1.8 °C iken donma noktasına ve 1027.7 kg/m³ değeriinde maksimum yoğunluğa ulaşmaktadır. Bu değeriiler tuzlu suyun yoğunluğunun tatlı suya nazaran daha fazla olduğunu göstermektedir. Deniz buzı tuzluluğu arttıkça donma noktası düşmekte ve donma noktasındaki yoğunluk daha da artmaktadır. Isı iletkenlik, donma noktasında maksimumdayken, tuzluluk arttıkça ve sıcaklık düştükçe ısı iletkenlik azalmaktadır. Deniz buzı donma noktasının daha altında sıcaklıklara düştüğünde ise yoğunluğu azalmakta ve ısı iletkenliği artmaya başlamaktadır. Yüksek tuzluluk oranındaki suyun soğuması, yoğunluğun ve ısı yayılımının azalmasına neden olmaktadır [Kern, 2010].

2.2. Deniz Buzu Tipleri

Deniz buzı tiplerini belirlemek amacıyla şekillerine, yaşlarına, kalınlıklarına ve fiziksel biçimlerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Yaşlarına bağlı olarak, Şekil 2.2’de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır. Pasif Mikrodalgalar ile konsantrasyon alanları hesaplanacağı için uzun periyotta yapıldığında eriyen buzların genç buz yada eski buz olup olmadığı belirlenmektedir.

- i) Yeni Buzlar: Buz çiçekleri, birikmiş buz kristalleri, karbuz, ıslak buz (shuga), nilas, buz pidesi.
- ii) Genç buzlar: Gri-beyaz buz, beyaz buz.
- iii) Eski buzlar: İkinci yıl buzı ve çok yıllık buz.



Şekil 2.2: Yaşlarına bağlı ve diğer fiziksel özelliklere göre deniz buzı sınıflandırılması.

Deniz buzı sınıflandırılmasının yalnızca yaşa göre yapılmasının deniz buzı tiplerin yaşlarına göre Şekil 2.2’de gösterilmektedir. Bunun yanında kalınlık, pürüzlülük ve biçimsel farklılıklarına göre pek çok farklı tipi bulunmaktadır [Kern, 2010].

Bu bölümde Aktif Mikrodalgalar ve VIR ile konsantrasyon dışında buzun kalınlığı ve tipi hakkında bilgi toplanabileceği için yer verilmiştir. Gelecekte yapılabilecek çalışmalarda kara buzulları ve deniz buzlarını ayırt etmek için her ikisinin de fiziksel biçimsel farklarını bilmek gereklidir. Örneğin, parçalı halde gezen deniz buzu ve karadan kopmuş denizde yüzen bir buz dağı yüksek çözünürlükte VIR ya da Aktif Mikrodalga uydu görüntüsü ile ayırt edilebilmektedir.

2.2.1. Buz Çiçekleri

Buz çiçekleri, su buharı sıvı fazı atlayıp katılaştığında deniz buzuna çökelmiş deniz buzu kristalleri okyanus suyu üzerindeki soğuma ile aniden oluşmaktadırlar. Şekil 2.3’de gösterilen buz çiçeklerinin kristal yüzeyi çok pürüzlü olduğundan elektriksel sinyali etkilemektedir.



Şekil 2.3: Buz çiçekleri fotoğrafı.

2.2.2. Yağ Buz

Bu görüntü su üzerindeki yağ gibi görünmesinin dolayı “yağ buz” ismiyle tanımlanmaktadır. Buz kristallerinin, bir araya gelerek deniz yüzeyinde ince kıvamlı bir tabaka oluştururlar. Şekil 2.4’de görüldüğü üzere, çok az ışık yansıtır ve denizin

üzerinde mat yağımsı bir görüntü bırakırlar. Bu biçimde doğan buzlar donarak nilas'a dönüşmektedirler.



Şekil 2.4: Yağ buz fotoğrafı.

2.2.3. Kar Buz

Kar buz, Şekil 2.5'deki gibi, yoğun kar yağışından sonra suda veya yağ buz üzerinde, suyla karışmış doymuş kar suyun içinde yüzen kıvamlı bir kitleye dönüşerek oluşmaktadır.



Şekil 2.5: Kar buz fotoğrafı.

2.2.4. Islak Buz

Islak buz, birkaç cm büyüklüğünde, süngerimsi buz öbeklerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Şekil 2.6’de gösterildiği gibi hem yağ buz hem de kar buzdan oluşabilmektedir. Bazen de taban buzunun su yüzeyine çıkmasından oluşmaktadır.



Şekil 2.6: Islak buz fotoğrafı.

2.2.5. Buz Kalıbı (Buz Pidesi)

Şekil 2.7’de gösterilmiş olan buz kalıbı, okyanus çalkantılıyken meydana gelen buzların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Kalınlıkları 20 cm geçmemektedir. Üzerinde yarı erimiş kar bulunmaktadır. Çalkantılı deniz yüzeyi sebebiyle birbirlerine çarparak kenarları ovalleşir ve kenarlarında küçük yükseltiler oluşmaktadır. Deniz yüzeyi çalkantılıysa, yüzmekte olan buz kalıbının elastikse esmediği, elastik değilse kırıldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 2.7: Buz kalıbı fotoğrafı.

2.2.6. Nilas

Nilaslar, buz kalıbının aksine, çok çalkantılı olmayan denizde biriken buzlardan oluşmaktadır. Şişebilir olmalarının yanında dalgalı su yüzeyinde bükülebilir ve basınçla birbirine geçen parmak görünümünde bir desen oluşturmaktadırlar. Mat bir yüzeye sahip olmakla beraber kalınlıkları en fazla 10 cm'dir. Şekil 2.8 ve 2.9'da görüleceği üzere, koyu nilas ve açık nilas olarak ifade edilmektedir.



Şekil 2.8: Koyu nilas fotoğrafı.



Şekil 2.9: Açık nilas fotoğrafı.

2.2.7. Gri-Beyaz Buz

Gri-Beyaz buz, bir kış mevsiminden fazla kış görmemiş genç buzlardır. Şekil 2.10'da ki fotoğrafta gösterildiği gibi, sıkışma nedeniyle hareketsiz kalan ve kenarlarında küçük yükselmeler oluşur. 15-30 cm kalınlığında taze deniz buzı olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 2.10: Gri-beyaz buz fotoğrafı.

2.2.8. Beyaz Buz (İlk Yıl Buzu)

Şekil 2.11'de gösterilen beyaz buz, ilk yıl buzı olarak da bilinir. 30 cm ile 2 m arasında taze deniz buzlarından oluşan, bir kıştan fazla kış görmemiş deniz buzlarıdır. İlk yıl deniz buzları kalınlıklarına göre üç kategoride sınıflandırılmaktadır.

- i) İnce: 30 cm-70 cm
- ii) Orta: 70 cm-120 cm
- iii) Kalın: 120 cm'den büyük



Şekil 2.11: Beyaz buz fotoğrafı.

2.2.9. Eski Buz

En az bir yaz mevsiminin erimesinden erimeden kurtulmuş 2.5 m veya daha fazla kalınlığa erişmiş deniz buzullarıdır. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi topografyaları genç buzullara göre daha yumuşak geçişlidir. Eski deniz buzları, ikinci yıl ve çok yıllık buz olarak iki kategoride sınıflandırılır. İkinci yıl buzulları, en az bir yaz erimesinden sonra ikinci kış sezonunda kalınlığı 2.5 metre ve ya daha kalın deniz buzlarıdır. Çok Yıllık buzlar, en az 3 m kalınlığındaki ve en az iki yaz ve iki kış görmüş buzlardır.



Şekil 2.12: Eski buz fotoğrafı.

2.2.10 Karaya Bağlı Buz

Kıyı şeridinde bağlanmış deniz buzları, iki şekilde oluşmaktadırlar. Kıyıda soğuyarak donan buzlardan ve yüzer haldeyken kıyıya sonradan dayanarak oluşmaktadırlar. Deniz seviyesindeki değışiklikler, buzulun konumunda düşey doğrultuda hareketlere sebep olmaktadır. Bu hareketler levhalar arasında Şekil 2.13’de görüleceği üzere kırıklar oluşmaktadır.



Şekil 2.13: Karaya bağlı buz fotoğrafı.

Deniz buzı tipleri, çözünürlüğü yüksek mikrodalga sensörleriyle saptanabilmektedir. Gelecekte aktif ve pasif mikrodalga sensörleri kullanılarak yapılacak çalışmalarda kaynak olması amacıyla bu bölümde yer verilmektedir.

3. UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ İLE DENİZ BUZU GÖZLEMLERİ

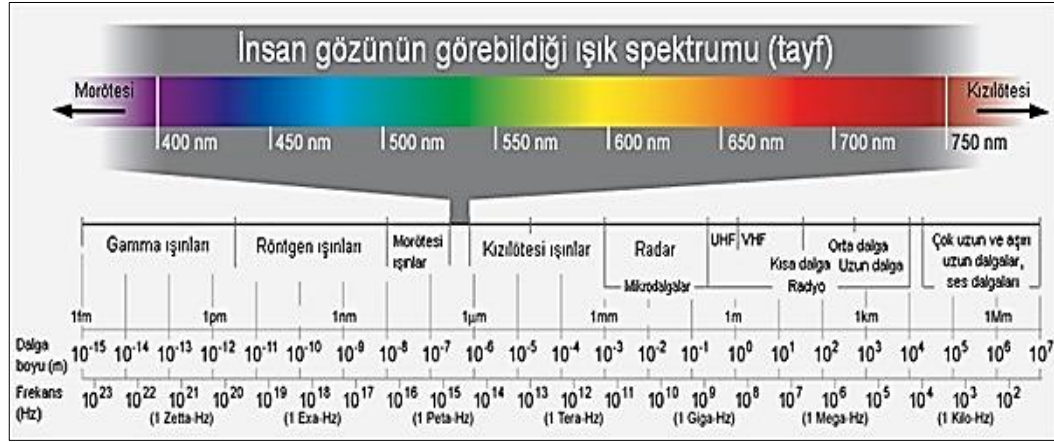
Uzaktan algılama sistemleri, farklı alıcılar ve farklı frekanslar kullanarak deniz buzuna dair birçok özelliği belirleyebilmektedir. Büyük bir kıtanın tamamını bir seferde görebilen alıcılarla makro çalışmalar yapılabildiği gibi daha küçük alanları daha detaylı gören alıcılarla lokal çalışmalar yapılabilmektedir. Özellikle yersel yöntemlerle ulaşılması güç alanlardan veri toplayabilmesi en önemli avantajlarından biridir.

3.1 Deniz Buzunu Tespit Eden Uydu Sensörleri

Elektromanyetik spektrumun görünür, yarı görölür ve mikrodalga bölümlerini kullanan uydu alıcılar, açık denize göre buz yüzeyinin yansıtma gücünün yüksek olmasından faydalanmaktadırlar. Yüzeyinin yansıtma gücü veya yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesi “albedo” kelimesiyle ifade edilmektedir. Deniz buzlarının uzaktan algılama yöntemleriyle spektrumun görülebilir, yakın görülebilir ve mikrodalga tayflarını kullanılmaktadır. Kutup bölgelerinde ilk çalışmalara 1964’de NIMBUS 1965’de TIROS-9 1966 da ESSA uydularının atılmasıyla VIR görüntüleri ile başlanmıştır [Rees, 2006]. Ancak görüntülerin çözünürlüğü çok düşük olmasının yanında bulut tabakasından çok etkilendikleri için sağlıklı bir sonuç elde edilememiştir. 1972’de Nimbus-5 uydusunun fırlatılmasıyla ESMR sensörüyle mikrodalgalar ile albedo verileri toplanmaya başlamıştır.

Kutup bölgeleri için kullanılan mikrodalga radyometreleri sırası ile, 1978-1987 yılları arasında NIMBUS-7 uydusunun SMMR sensörü, 1987 yılında DMSP-F8,F10,F11,F13 uydusu SSM/I sensörü günümüze kadar veri sağlamaktadır. 2002 ve 2011 yılları arasında Aqua uydusu AMSR-E sensörü rotasyonu durana kadar veri sağlamıştır. AMRS-E ye paralel zamanlı 2002-2011 ADEOS-II uydusunun solar paneli bozulana kadar veri sağlamıştır. JAXA's GCOM-W1 uzay aracı AMSR-2 sensörü, 2012 yılından günümüze kutup bölgeleri hakkında mikrodalga verisi sağlamaktadır [Web 9, 2017].

Şekil 3.1’de uzaktan algılama sensörlerinin spektrometrede kullandığı dalga boyları gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Elektromanyetik spektrum.

VIR görüntüleri insan gözünün görebildiği 0,4-0,75 (μm) arasındaki dalga boyları, kızılötesi 0,75-1,4 (μm) dalga boyları kullanılmaktadır. Mikrodalga görüntüleri için 1 (mm) ve 1 (m) arasındaki dalga boyları kullanılmaktadır.

3.2. VIR-Görülebilir ve Yakın Kızılötesi Radyometresi

VIR, Deniz buzu takibi, şekli ve genişliği konularında uzun yıllar boyunca uzaktan algılama yöntemi olarak kullanılmıştır. İlk zamanlarında çözünürlüğü 1km'den düşük görüntülerle çalışılmıştır. Bu görüntülerin en büyük engeli çözünürlük değil, buluta karşı duyarlılığının deniz buzunun saptanmasında engel teşkil etmesiydi. Günümüzde daha yüksek (1 km) çözünürlüğündeki MODIS görüntüleri deniz buzu alanlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır [Riggs et al.,1999]. Çözünürlüğünün yükselmesi kutup bölgelerinin yoğun bulutlu hava koşullarında yeterli olmamaktadır. Uydunun görüşünün çok bulutlu olması, pek çok bölgenin bulutlar altında kalarak haklarında günlük veri elde edilememesi anlamına gelmektedir. Buna rağmen VIR, bulutlu olmayan bölgelerin günlük deniz buzu genişliği ve deniz buzu tipleri hakkında değerli bir kaynak olarak kullanılmaktadır.

“Deniz buzunun genişliğini belirlemek için bulutlu görüntüleri kara ve deniz maskesine dayanan, ICEMEPPER adında, kuralları otomatik olan bir yöntem geliştirmektedirler.”

[Williams et al., 2002], Bölgelerin büyüklüğü söz konusu olduğunda pek çok parçayı maskeleyerek gerekmektedir. Bu verilerin aynı günde olması, yaz ayları dışında tek başına VIR görüntüleriyle mümkün olmamaktadır. [Rees, 2006].

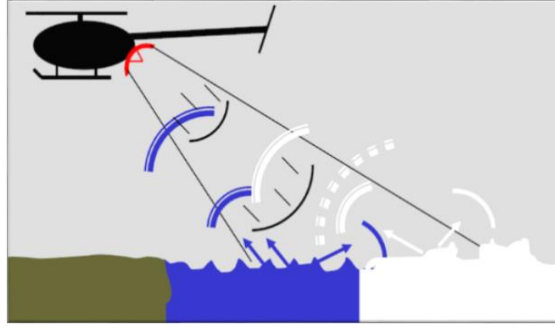
3.3. Mikrodalgalar

Uzaktan algılamada kullanılan Mikrodalgalar çoğunlukla yerkürenin yüzeyi ve yüzeye yakın bölgeleri tesir etmektedirler. Mikrodalgalar elektromanyetik spektrumun 1mm-1m dalga boyları arasında yer almaktadırlar. VIR'nin aksine mikrodalga ışıınım, bulut örtüsü, bulanıklık, toz ve şiddetli yağışa rağmen yüzeye nüfuz edebilmektedir. Çünkü uzun dalga boyları, daha kısa olan optik dalga boylarını etkileyen atmosferik saçılmaya duyarlılığı bulunmamaktadır. Bu özellik, özellikle kutup bölgelerindeki zorlu hava ve çevre koşullarında mikrodalga enerjisinin tespit edilmesine olanak tanımaktadır. Deniz buzları söz konusu olduğunda mikrodalgalar buzun içine de tesir edebilmektedir. Buzun kalınlığı ve yaşı gibi bilgileri de sağlamaktadır.

3.3.1. Aktif Mikrodalga Sistemleri

Daha yakın bir tarihte, 1995 yılında Radarsat'ın fırlatılmasından itibaren SAR devreye girmeye başlamaktadır. Radarsat ve Envisat tarafından taşınan SAR'lar arasında 500 km'lik geniş aralık opsiyonları bulunmaktadır. Bu sayede pasif mikrodalgalara göre daha yüksek çözünürlükte SAR'lar da deniz buzu konsantrasyonu, buz tipi ve buz kalınlığı konularında veri sağlamaktadır [Rees, 2006].

Aktif mikrodalga sistemleri, aydınlatma için enerji kaynaklarını yapay olarak sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde günün veya mevsimin zamanına bakılmaksızın her zaman ölçüm alma olanağı bulunmaktadır.



Şekil 3.2: Aktif mikrodalga yöntemi.

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere yapay bir radyasyon kaynağı yüzeye radyasyon yollar ve radyasyonun karşılaştığı yüzeyin pürüzleri yine aynı aracın sensörü tarafından algılanır. Şekilde aynı zamanda pürüzlü yüzeylerin araca bakan taraflarından yansıma gerçekleşmektedir. Bu sebeple arkada kalan alanlardan pürüzlü alanlarda saçılım farklı yönle de gerçekleşmektedir. Aynı frekanslarda farklı maddelerin saçılımları da farklı imzalar taşımaktadır.

Aktif Sensörler, Şekil 3.2’de gösterildiği üzere, araştırılacak hedef doğrultusunda radyasyon yayarak, hedeften yansıyan radyasyon sensör tarafından algılanmakta ve ölçülmektedir. Geriye dağılmış sinyalin gücü, farklı hedefler arasında ayırım yapmak üzere ölçülür ve iletilen ve yansıyan sinyaller arasındaki zaman gecikmesi, görüntü üzerinde bir çizgi, enerjinin zamana göre izdüşümünden oluşturmaktadır. Bir hedefin yeterince aydınlatılması için çok miktarda enerji harcamaktadırlar. Aktif mikro dalgalar radyasyonu kendileri üreterek radyo dalgaları yardımıyla uzayda cisimlerin varlığını ve yerini belirlemektedirler. Aktif olmaları nedeniyle güneş enerjisine ihtiyaç duymaksızın gece ve gündüz, her türlü hava koşulunda (bulut, yağmur, kar) görüntü sağlamaktadırlar. Ayrıca sayısal arazi modeli (DEM) formunda, üç boyutlu yüzey haritalamasında kullanılır. Zaman içinde gerçekleşen yüzey değişikliklerini ölçmede ve hareket eden cisimleri saptamada kullanılmaktadırlar. Radarların uzun dalga boyları yerin altına nüfuz ederek gömülü şekilleri saptayabilmektedir [Web 6, 2015].

3.3.1.1. Yapay Açıklıklı Radar (SAR)

Yapay açıklıklı radarlar yüksek çözünürlükte şeritler halinde görüntü elde etmektedirler. Görüntü, geriye yansıyan sinyaldeki gecikme ve sinyalin gücünden elde edilmektedir. Sinyaldeki bu değişimler yüzeyin uydudan uzaklığı, yüzeyin pürüzlü olup olmayışı ve sinyali yansıtan maddenin dielektrik özelliğine bağlanmaktadır [Web 7, 2017].

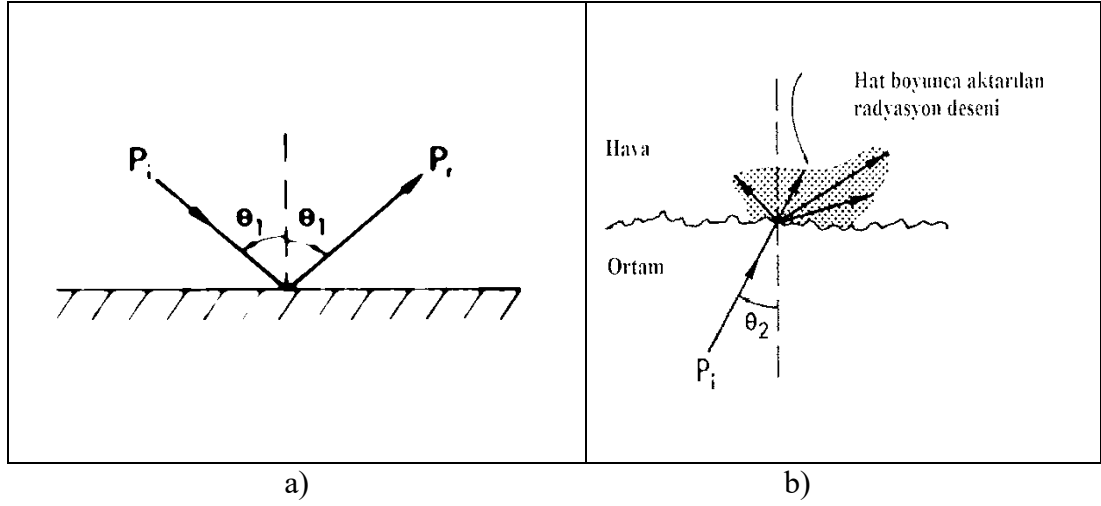
3.3.1.2. Radar Altimetreleri

Radar altimetreleri, temel olarak dünya yüzeyine olan mesafeyi ölçmektedir. Kısa bir radyasyon darbesinin iki yönlü seyahat süresinin ölçülmesi ile elde edilmektedir. Genellikle 10 GHz frekansları, 3cm dalga boyu civarlarında mikrodalgalar kullanılmaktadır.

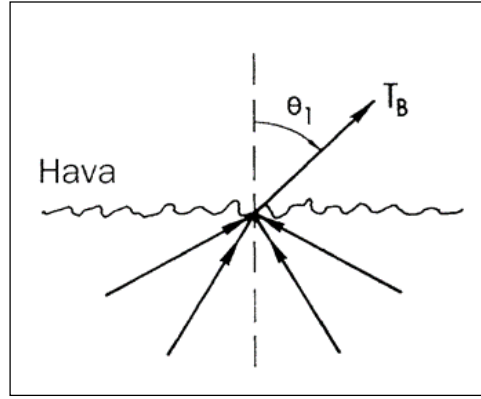
Radar altimetresi, okyanus ve deniz buzları üzerinden yansıyan sinyalleri ölçen iki çalışma tipi bulunmaktadır. Okyanus ölçümlerinde deniz yüzeyi pürüzlülüğü, rüzgar izi, dalga yüksekliği ve petrol kirliliği hakkında bilgi vermektedir. RADARSAT görüntüsünden örnek vermek gerekirse, sakin deniz yüzeyi siyah gözükürken rüzgar izi, gemi izi yüzeyi pürüzlü hale getirdiği için açık renkte gözükmektedir. Gönderilen ışının açısı ve gücüne bağlı olarak, geri yansıması, emisyonu ve yüzeyin pürüzlülüğü radar görüntülerini oluşturur. Düz yüzeyler karanlık, pürüzlü yüzeyler, özellikle açının küçük olması durumunda, açık renkte gözükmektedir.

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de gösterildiği üzere aktif mikrodalga yüzeyin pürüzlülüğüne göre farklı tiplerde emisyon yapmaktadır. Şekillerdeki sembollerden Θ geliş açısını, Şekil 3.3’de gösterilen, Π gelen mikrodalga ışınını ve Şekil 3.4’de gösterilen TB Parlaklık sıcaklığını temsil etmektedir.

Açık deniz, ilk yıl buzu ve çok yıl buzunu farklı mikroda frekanslarıyla kolaylıkla belirlenmektedir. Deniz buzlarının geri saçılımı geliş açısına, türüne ve frekansına göre oldukça çeşitlidir. Bu bantlar ve doğru frekansla mikrodalga buza nüfuz edebilmektedir [Ulaby et al.,1986].



Şekil 3.3: a) Pürüzsüz ve b) Pürüzlü yüzeylerde mikrodalga emisyonu.



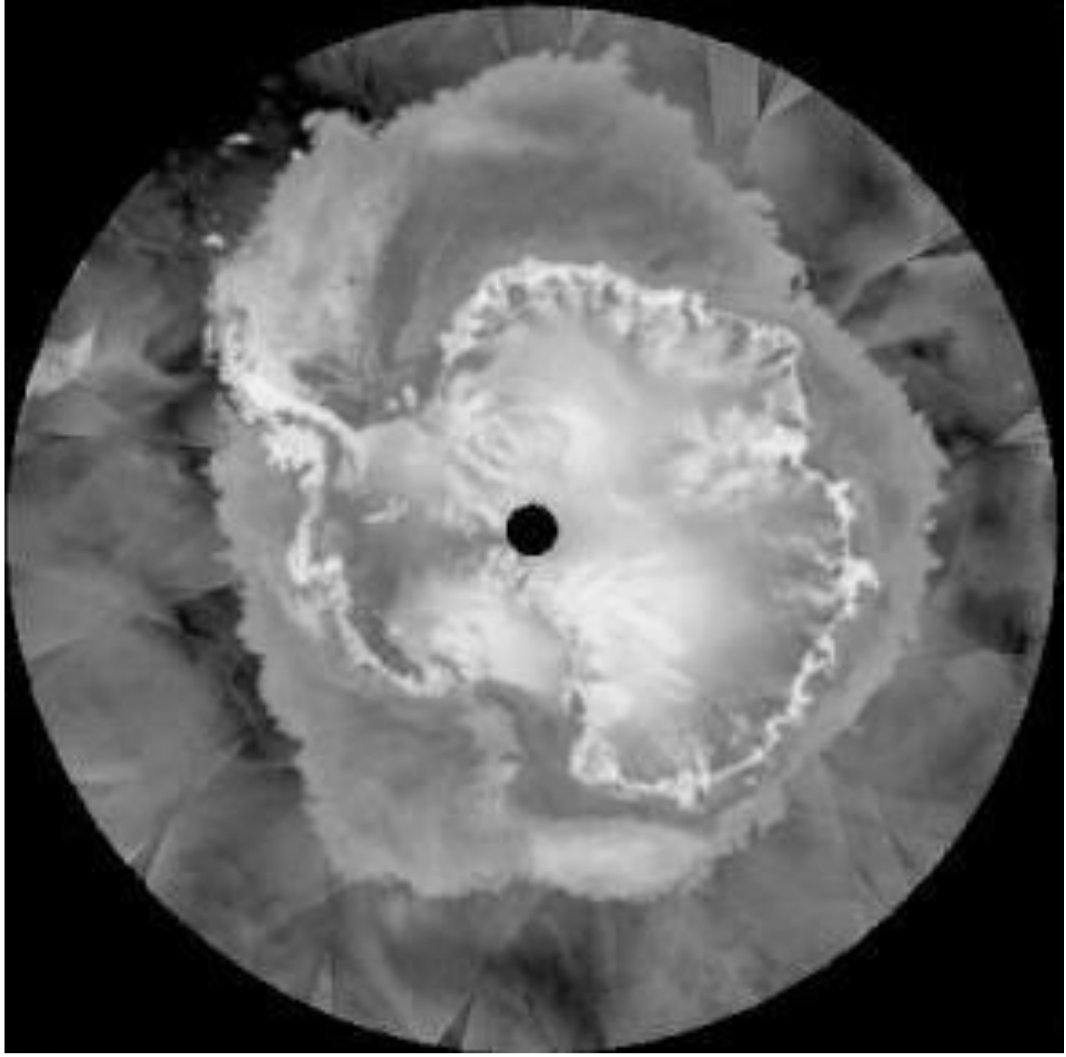
Şekil 3.4: Çoklu yönlerden gelen ve tek doğrultuda saçılan radyasyon.

Tablo 3.1’de gösterilen X-Bantının HH (yatay iletimli ve yatay alımlı) polarizasyonu ile çalışıldığında geliş açısının bir fonksiyonu olarak yaşlı buzlar ilk yıl buzlarından ayrılabilir. İlk yıl buzlarında, 5 GHz: frekansta 15 cm, 20 GHz frekansta 3 cm nüfuz edebilmekteyken çok yıllık buzlarda 5 GHz frekansta 35 cm, 20 GHz frekansta 9 cm nüfuz edebilmektedir. Buzun yaşı ilerledikçe mikrodalgaların ulaşabildi buzun içine nüfuz etme mesafesi artmakta ve buna bağlı olarak buzun yaşının belirlenmesi mümkün olmaktadır [Kern, 2010].

Tablo 3.1: Kutup bölgelerinde radar geri saçılımında kullanılan bantlar, frekansları ve dalga boyları.

Band	Frekans	Dalga Boyu
L - Bant	1 GHz	30 cm
C - Bant	5 GHz	5 - 6 cm
X - Bant	10 GHz	3 cm
Ku - Bant	14 GHz	2 cm

Tatlı su buzullarında çok daha derinlere nüfuz etmektedir. Ayrıca kar, çok düşük tuz içerdiği için yüksek radyasyon iletkenliğine sahiptir. Bu sebeple karla kaplı buz daha derinlere tesir etmesi sebebiyle deniz buzunun yaşı konusunda yanılabilir. Islak karın, mikrodalga'nın frekansına göre tesir derinlikleri elektriksel kaybı arttığı için ıslaklık miktarı kuru kardan çok daha azdır. Şekil 3.5'de görüleceği üzere, yüksek frekansta üretilen aktif mikrodalga görüntüleri çözünürlükleri yüksek olmasına karşın şerit genişlikleri daha az olduğundan dolayı çok sayıda görüntüden türetilmiş bir görüntüdür [Ulaby et al.,1986], [Web 8, 2017].



Şekil 3.5: QuikSCAT uydusu 19.05.2003 Antarktika radar görüntüsü.

3.3.2. Pasif Mikrodalga Sistemleri

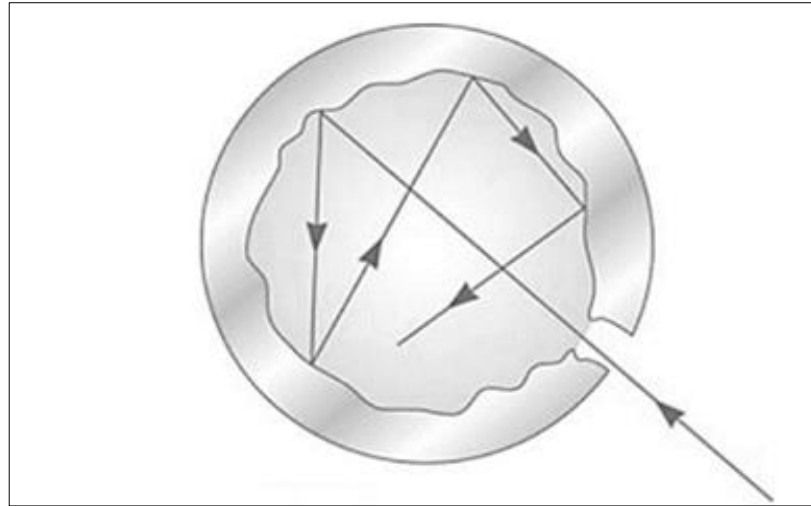
Uzaktan algılama için en uygun enerji kaynağı olan güneş enerjisi radyoaktif ışıınımı, yansımakta, emilmekte veya tekrar yayılmaktadır. Doğal olarak mevcut olan enerjiyi ölçen uzaktan algılama sistemleri, pasif sensörler olarak adlandırılmaktadır. Pasif sensörler, yalnızca doğal olarak oluşan enerji olduğunda enerjiyi algılamak için kullanılabilir. Yansıyan enerjinin tamamı için, bu sadece güneşin Dünya'yı aydınlattığı zaman gerçekleşebilir. Gece güneşten gelen enerji yoktur ancak pasif mikrodalgalar madenin içinden doğal olarak yansıyan enerji miktarı kaydedilebilecek kadar büyük olduğu sürece, gece de tespit edebilir.

Pasif mikrodalgalar, çoğunlukla yüzey ve yüzey altının fiziksel özelliklerine karşı duyarlı olması sebebiyle uzaktan algılamada kullanılmaktadır. Deniz buzunun

tuzluluğu, yoğunluğu, kristal yapısı, deformasyonu, topografyası, kalınlığı, kar örtüsü, sıcaklık profili ve elektriksel yalıtkanlığı pasif mikrodalga sensörlerini etkileyen başlıca buz özellikleri olarak bilinmektedir. Pasif mikrodalgalar, kutup bölgelerinde klimatoloji, oşinografi, kriyosfer çalışmalarında tercih edilmektedir. Bu çalışmada daha çok kryosfer çalışması ağırlıklı, buz konsantrasyonu konusuna odaklanılmıştır.

3.3.2.1. Siyah Cisim

Siyah cisim, Şekil 3.6’da temsili olarak gösterilmiş olan bütün dalga boylarındaki ışımayı soğurabilen ideal (gerçek olmayan) bir cisimdir. Mutlak sıfır noktasından belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında, tüm dalga boylarında elektromanyetik ışıma yapmaya başlar. Herhangi bir sıcaklıktaki bir cismin elektromanyetik ışıma yaptığı bilinmektedir. Termal Işıma olarak da bilinen kara cisim ışıınımı, ışıının spektrumu, sıcaklığı ve malzemenin özelliklerine bağlıdır. İdeal bir cisim olan siyah cisimin soğurma ve yayma kabiliyeti maksimumdur.



Şekil 3.6: Siyah cisim.

3.3.2.2. Planck Kanunu

T sıcaklığında ve f frekansındaki bir siyah cisim tarafından yayılan spektral radyasyon yoğunluğu (termal ışıma yoğunluğu) olarak ifade edilir. Bu yasa tüm frekans aralığı için geçerlidir. Bir siyah cisim, ışık geçirmeyen bir materyal tüm elektro manyetik ışımaları emdiği için hiçbir yansımaya yokken bile bir sıcaklığa sahiptir.

$$B_f(T) = \left(\frac{2hf^3}{c^2} \right) \cdot \left(e^{\frac{hf}{kT}} - 1 \right)^{-1} \quad (3.1)$$

- $B_f(T)$: Spektral radyasyon (Siyah cismin spektral ışıması)
- f : Frekans (Hz)
- T : Yüzeydeki yapıdan yayılan sıcaklık. (°K)
- c : Işık hızı = 2.9979×10^8 (m/s)
- h : Planck sabiti = $6.62606957 \times 10^{-34}$ (j.s)
- k : Boltzmann sabiti = $1.380648252 \times 10^{-23}$ (j.K-1)
- e : 0 ve 1 arasında yayılma gücü. (Siyah cisim için $e=1$ 'dir.)

3.3.2.3. Rayleigh-Jeans Kanunu

Planck yasası, düşük mikrodalga frekansları için Rayleigh-Jeans kanunuyla basitleştirilmektedir. Bir siyah cisim, tüm elektro manyetik ışımaları emdiği için hiçbir yansımaya yokken bile bir sıcaklığa sahiptir.

$$T_B = T \rightarrow T_B = \frac{B_f(T)c^2}{2kf^2} \quad (3.2)$$

Siyah cismin sıcaklığı T , (3.2) formülünde verilen mikrodalgadaki frekans aralığı T_B parlaklık sıcaklığına eşitlenir [Rees, 2006].

4. DENİZ BUZU KONSANTRASYONU

Deniz buzullarının kapladığı alanın belirlenmesi için deniz buzu konsantrasyonu ifadesi kullanılmaktadır. Deniz buzu konsantrasyonu, görüntüdeki her pikselin parlaklık sıcaklığı yüzde oranlarıyla ifade edilmektedir. Parlaklık sıcaklığı oranları %100 beyaz ise buz, %0 siyah ise açık su (deniz suyu) olarak belirtilmektedir. Deniz buzları genellikle yatay levhalar biçiminde oldukları için kış dönemlerinde bu bölgelerin konsantrasyon değeri maksimumda hesaplanır. Ancak kıyılarda deniz buzunun parçalı oluşu, suya doygunluğunun artması, deniz buzunun konsantrasyonu azaltarak, %1 ile %99 arasında değerler almaktadır. Konsantrasyon buzun yayıldığı alanı değil, piksel başına kapladığı alanı oransal olarak ifade etmemektedir. Genellikle VIR, pasif mikrodalgalar ve aktif mikrodalgalarla elde edilen görüntülerden konsantrasyon hesaplamaya çalışılmaktadır. Her yöntemin kendine göre farklı avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

4.1. Görülür-Yakın Kızılötesi Radyometre ile Konsantrasyon Belirleme

Deniz buzu konsantrasyonu belirlemek için kullanılan ilk data lar VIR bulutsuz bölgelerin görüntüleriyle oldukça yüksek çözünürlükte veri sunmaktadır. Günümüzde deniz buzu alan genişliği MODIS görüntüleri kullanılarak 1 km çözünürlüğünde tespit edilmektedir.

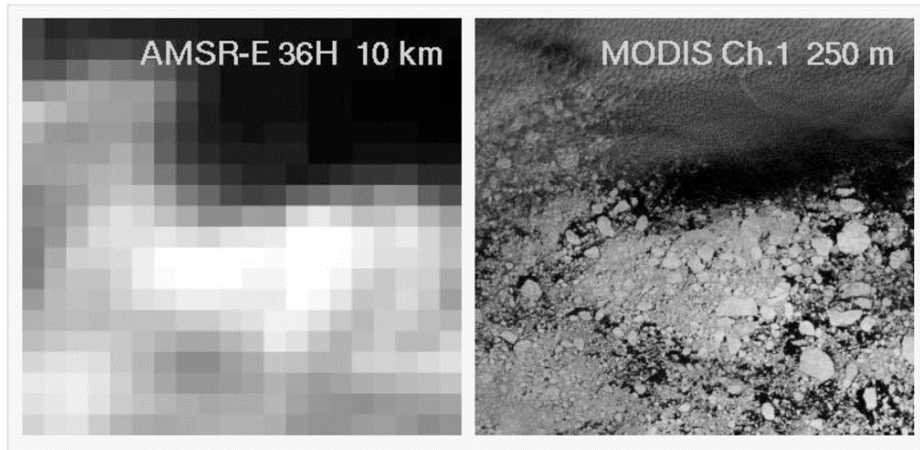
Çözünürlüğü yüksek olan bu görüntüler kontrast esaslı çalışmaktadırlar ve ince buzlar söz konusu olduğunda kontrast düştüğü için konsantrasyon da düşmektedir. Konsantrasyon düşüklüğü aynı zamanda konsantrasyon verilerini yanıtılabilen bir etmendir. Buna ek olarak özellikle kış döneminde bulutlu havanın büyük ölçüde görüşü engellemesi bütünü kapsayan günlük deniz buzu verisi elde edilmesini engellemektedir.

Çözünürlüğü yüksek VIR verisinin bulut örtüsüne hassasiyeti meteorologlar için avantaj olmasına karşın deniz ve kara buzu gözlemleri için büyük ölçüde dezavantaj olmaktadır. Deniz buzunun en yoğun olduğu dönemler kış olması sebebiyle bulutlu hava oldukça uzun bir süreçte bölgeyi kaplamaktadır. Yaz

dönmelerinde ve bulutsuz havalarda doğruluğu en yüksek veriler VIR sensör verileriyle toplanabilmektedir.

4.2. Pasif Mikrodalgalarla Konsantrasyon Belirleme

Kış döneminin bulutlu ve sert hava koşullarında, günlük veri sağlayan pasif mikrodalga radyometreleri Arktik ve Antarktik bölgeleri için büyük önem kazanmaktadır. Pasif mikrodalgalar VIR görüntülerine göre en büyük avantajı bulut örtüsünden etkilenmemeleri. Çözünürlüğü düşük olmasına rağmen deniz buzu belirlemede çok önemli bir alternatiftir. Buzun tipini belirlemede çözünürlüğü düşük olduğu için çok başarılı değildir. Bu sebeple buz tiplerini VIR ve SAR ile genel boyutlarını belirlemek için istatistiksel olarak buz konsantrasyonunun belirlenmesi daha doğru bir yaklaşımdır [Comiso et al., 1997], [Rees, 2006].



Şekil 4.1: AMSR-E pasif mikrodalga görüntüsü ve MODIS-VIR.

Şekil 4.1’de görüleceği üzere, 9 Ağustos 2003 tarihli AMSR-E 36 GHz-Düşey polarizasyondaki pasif mikrodalga görüntüsü ve MODIS-VIR görüntüsü eşleştirilmektedir. 10 km düşük çözünürlükte mikrodalga görüntüsü, 250 m yüksek çözünürlükteki MODIS görüntüsüyle eşleşmektedir. MODIS çözünürlüğü oldukça yüksek özellikle yaz döneminde çok detaylı veri sağlama kapasitesindedir ve dezavantajı buluta olan hassasiyeti görüşü engellemesidir. AMSR-E ise bulutlardan etkilenmediği için yaz, kış her türlü hava koşulunda veri sağlayabilmektedir. İki sensör birbirini tamamlayacak şekilde efektif kullanılmaktadır.

Pasif mikrodalgalar ile konsantrasyon belirlemede polarizasyon dört farklı biçimde kullanılmaktadır. Polarizasyon elektromanyetik dalganın elektrik alan vektör yönünü belirtmek için kullanılan bir kavramdır. Elektrik alan vektör yönü yatay (yatay, H) ya da dikey (düşey, V) olabilir. Pasif mikrodalgalar ile konsantrasyon belirlemede polarizasyon HH, HV, VV ve VH olarak dört farklı biçimde gerçekleşmektedir. İlk uzaysal pasif mikrodalga radyometresi ESMR ile tek kanallı veri sağlanmaktadır. 19.4 GHz, H-Polarizasyonu ile elde edilen deniz buzu konsantrasyonları çizgisel enterpolasyon yöntemi ile aşağıdaki formül kullanılarak yeniden elde edilmiştir. [Parkinson and Gloersen, 1993], [Steffen et al., 1992]

$$C = \frac{T_b - \mathcal{E}_w T_w}{\mathcal{E}_i T_b - \mathcal{E}_w T_w} \quad (4.1)$$

- $\mathcal{E}_w$ ve $\mathcal{E}_i$ sırasıyla deniz suyu ve deniz buzunun emisyonunu
- T_w ve T_i deniz suyu ve deniz buzunun fiziksel sıcaklığı
- C ise deniz buzu konsantrasyonu olarak açıklanmaktadır. Formüldeki en belirgin zorluk $\mathcal{E}_i$ 'nin belirgin oranda çeşitlilik göstermekte olmasıdır.

SSMR (Çok kanallı mikrodalga radyometre taraması) ve sonrasında gelen çok kanallı araçlar bu belirsizlikleri büyük oranda çözmüştür. NASA grubu algoritması, PR (polarizasyon oranı) ve GR (değişim oranı) değerlerini içermektedir. [Cavalieri et al., 1984],[Steffen et al., 1992], [Gloersen ve Cavalieri, 1986]

$$PR = \frac{T_{18V} - T_{18H}}{T_{18V} + T_{18H}} \quad (4.2)$$

$$GR = \frac{T_{37V} - T_{18H}}{T_{37V} + T_{18H}} \quad (4.3)$$

Bu formülde T_{18V} dikey olarak polarize edilmiş parlaklık sıcaklığını ifade etmektedir. T_{37H} de benzer olarak 37 GHz de yatay olarak polarize edilmiş parlaklık sıcaklığını ifade etmektedir.

$$C = \frac{a + b + PR + cGR + dPR.GR}{e + fPR + gGR + hPR.GR} \quad (4.4)$$

Bu formülde deneysel olarak a ve f katsayıları belirlenmektedir. Buz tiplerine göre ve özellikle de güney ve kuzey yarım kürede değişiklik göstermektedir. a ve f bağlantı noktaları lokal olarak yada yarım küresel olarak ayarlanabilmektedir. Veri değerleri, açık deniz, % 100 ilk yıl buz, %100 çok yıllık buz olarak ifade edilmektedir. Denklem GR nin PR ye karşı olduğu bir durumdaki yaklaşık olarak üçgen şeklindeki bölgeyi tanımlamaktadır.

Bu yaklaşımdaki en temel hata kaynağı havaya bağlı etkilerdir. Bu etkilerden biri bulutlardaki akışkan sudan kaynaklanmaktadır. Pasif mikrodalgalar buluta karşı hassas değildir ancak suya karşı hassastır. Açık sular radyasyonu soğurduğu için albedo'su sıfırdır. Buna karşın buz ise tam bir yansıtıcıdır. Bu sebeple bulutun içinde akışkan su, yağmur veya dolu mevcutsa radyasyon emilimi ve açılımını etkileyecektir. Meteorolojik çalışmalar için olumlu olan bu hassasiyet deniz buz konsantrasyonu için hata kaynaklarından biridir. Havaya bağlı diğer bir hata kaynağı rüzgarlar nedeniyle deniz yüzeyinin pürüzlü olması, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi emisyonu zayıflatmaktadır. [Gloersen and Cavalieri 1986]. Güçlü esen rüzgarlar suyun üzerinde beyaz ve gri desenler oluşturmaktadır ve düşük konsantrasyonlu deniz buz olarak algılanabilmektedir.

“Pasif mikrodalga verilerinden elde edilen toplam buz konsantrasyonunun gerçek doğruluğu yüzey kuru olduğunda $\pm\%10$ civarında bulunmaktadır.” [Steffen and Schweiger, 1991], [Cavalieri et al., 1991]

Ancak hata erime durumlarında artmaktadır. Çünkü erime durumlarında buzun içi suya doymaktadır ve konsantrasyon daha çok düşmektedir. İlkbahar mevsiminde erime başladığında buzun üzerinde göllenmeler olacağından buzlu alanlar açık su olarak ya da olduğundan daha düşük konsantrasyonlu buz olarak hesaplanacaktır. Buna ek olarak erimeyi daha hızlı olarak gösterecektir. Bu sebeple erimenin en çok arttığı yaz mevsiminde algoritmalar güvenilir değildir [El Naggat et al., 1998]. Islak kar örtüsü de suya doygunluğu sebebiyle emisyonu tıpkı bulutlardaki akışkan su gibi belirsizliklere sebep olmaktadır. Karın albedo'su deniz buzunun albedosundan daha düşük olması konsantrasyonu olduğundan daha az hesaplanmasına neden olmaktadır [Garrity, 1992], [Rees, 2006].

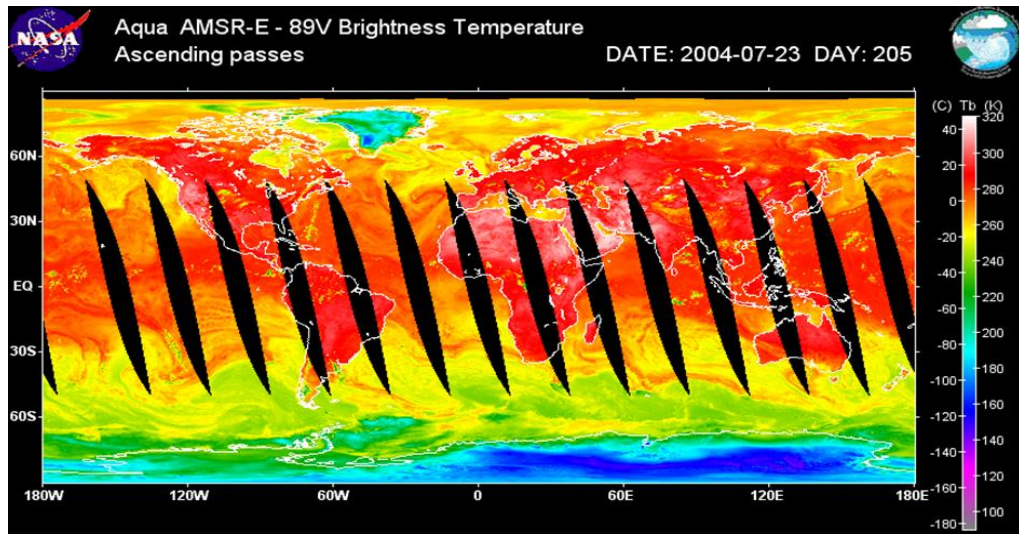
“İnce buz (0.3m den ince), %30 u açık su olarak gözüktüğü için problem oluşturabilmektedir.” [Grenfell et al., 1992] *“Tek başına yüzen buz tipi bir arada olan buz tiplerine göre daha az güvenilirirdir. Özellikle mikrodalga algoritmaları çok*

yıllık buzların bazı kısımlarını olduğundan küçük belirleme eğilimindedir.” [Comiso, 1990].

Genel olarak algoritmaların kış verilerinde büyük oranda doğru veri elde edilirken ilkbahar ve yaz döneminde verilerin doğruluk oranları düşmektedir. Azalan doğruluk konsantrasyonu olduğundan daha az belirlemesinden kaynaklanmaktadır.

4.3 Deniz Buzu Konsantrasyonu ve AMSR-E

Gelişmiş Mikrodalga Tarama Radyometresi Yer Gözlem Sistemi anlamına gelen (AMSR-E), 2001 yılında Aqua uydusuyla fırlatılmıştır ve 2011 yılına kadar yer gözlemleri yapabilmektedir. AMSR-E 12 kanallı, 6 frekanslı, pasif mikrodalga radyometre sistemidir. 6.9 GHz, 10.7 GHz, 18.7 GHz, 23.8 GHz, 36.5 GHz ve 89.0 GHz'de yatay ve dikey polarize parlaklık sıcaklıklarını ölçmektedir. Tek tek ölçümlerin mekansal çözünürlüğü 89 GHz'de 5.4 km'den 6.9 GHz'de 56 km'ye değişmektedir. AMSR-E ekvatorun üzerinden yerel saatle göre gece 1:30'da ve saat 13:30'da geçiş yapar. Her bir kutup noktasından günde bir defa geçerler [Web 9, 2017], [Web 10, 2017]. Şekil 4.2'de görüldüğü üzere, Aqua uydusu AMSR-E sensörü tarama şeridi kutup bölgelerinden ekvatorial bölgelere nazaran daha sık geçmekte ve daha çok veri toplamaktadır.



Şekil 4.2. 23.07.2004 tarihindeki AMSR-E sensörü tarama alanı şeridi.

Pasif mikrodalgadan elde edilen tüm deniz buz konsantrasyon verileri U.S.NSIDC (Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Kar ve Buz Merkezi) veri setlerinde arşivlenmektedir.

NASA’da bulunan arşivde sırası ile SMMR, SSM/I, AMSR-E veri setlerinde kullanılan temel algoritmalar formül (4.5), (4.6), (4.7) ve (4.8)’de açıklanmaktadır. İlk algoritma (BBA) SMMR için 25 km’lik gridler halinde üretilmiştir. 1987’den itibaren SSM/I 12.5 km² cihazından türetilmektedir. Cavalieri tarafından Nasa Team algoritmaları ile birleştirilmektedir [Rees, 2006]. SSM/I da olduğu gibi AMSR-E görüntülerinde de 12.5 km² lik gridler kullanılmaktadır. Farklı frekanslardaki verilerden oluşturulan algoritmalar kullanarak alansal çözünürlüğünü artırabilmektedirler. Ancak algoritmalarda farklı parametreler kullanıldığında farklı sonuçlar vermektedir. Bootstrap temel algoritması (BBA) ve NASA ekibi (NT2) deniz buz konsantrasyonu farkı parametreler kullandıklarından farklı sonuçlar vermektedir.

Bootstrap temel algoritması:

$$(BBA) \rightarrow C_1 = \frac{T_B - T_0}{T_1 + T_0} \quad (4.5)$$

- C_1 : Toplam buz konsantrasyonudur.
- T_1 ve T_0 : Deniz suyu ve deniz buzunun fiziksel sıcaklığı
- T_B : Mevcut parlaklık sıcaklığı
- Frekans Modu : Aynı polarizasyon
- Polarizasyon Modu : Yatay ve düşey polarizasyonda (tek bir frekansta)

NASA çalışma ekibinin orijinal algoritmasında da NT2 polarizasyon yaklaşımında olduğu gibi iki parlaklık sıcaklığı oranı kullanılır [Kern, 2010], [Web 10, 2017].

$$PR(\nu) = \frac{T_B(\nu V) - T_B(\nu)}{T_B(\nu V) + T_B(\nu H)} \quad (4.6)$$

$$GR(\nu_1 p \nu_2 p) = \frac{T_B(\nu_1 p) - T_B(\nu_2 p)}{T_B(\nu_1 p) + T_B(\nu_2 p)} \quad (4.7)$$

- PR : Spektral gradyen oranı (NT2)
- $T_B (v)$: Düşey polarizasyonlu parlaklık sıcaklığı
- p : Polarizasyon birleşeni
- V : Düşey polarizasyon düzlemi
- H : Yatay polarizasyon düzlem [Cavalieri et al., 1984].

NT2 Deniz Buzu Konsantrasyonu Algoritması, birbirinden farklı iki şeritten alınan T_B değerini, (L2) ortalamaları hesaplanarak oluşturur. NT2 algoritması atmosferik düzeltilme için özellikle önemlidir. NT2 geniş frekans aralığında düşük buzul konsantrasyonu problemi vermektedir. Bu sebeple aralığı dar tutulmaktadır. SSM/I 19 ve 37 GHz frekansı en uygun olanıdır [Kern, 2010].

$$T_B = T_1 C_1 + T_0 (1 - C_1) \quad (4.8)$$

- C_1 : Toplam buzul konsantrasyonudur.
- T_1 ve T_0 : Düğüm noktası, deniz buzu ve tatlı su arasında sıcaklık
- T_B : Mevcut parlaklık Sıcaklığı
- Frekans Modu: Aynı polarizasyon
- Polarizasyon Modu: Yatay ve düşey polarizasyon da tek bir frekansta

AMSR-E konsantrasyon algoritmaların yeterli olup olmadığı hala araştırma konusudur.

“AMSR-E Antarktika bölgesi görüntülerinin yersel kontrolleri yapıldığında AMSR-E algoritmalarının yaz döneminde konsantrasyonu olduğundan daha az gösterdiği tespit edilmektedir.” [Ozsoy et al., 2011]

5. DENİZ BUZU KONSANTRASYONU VE AMSR-E UYGULAMALARI

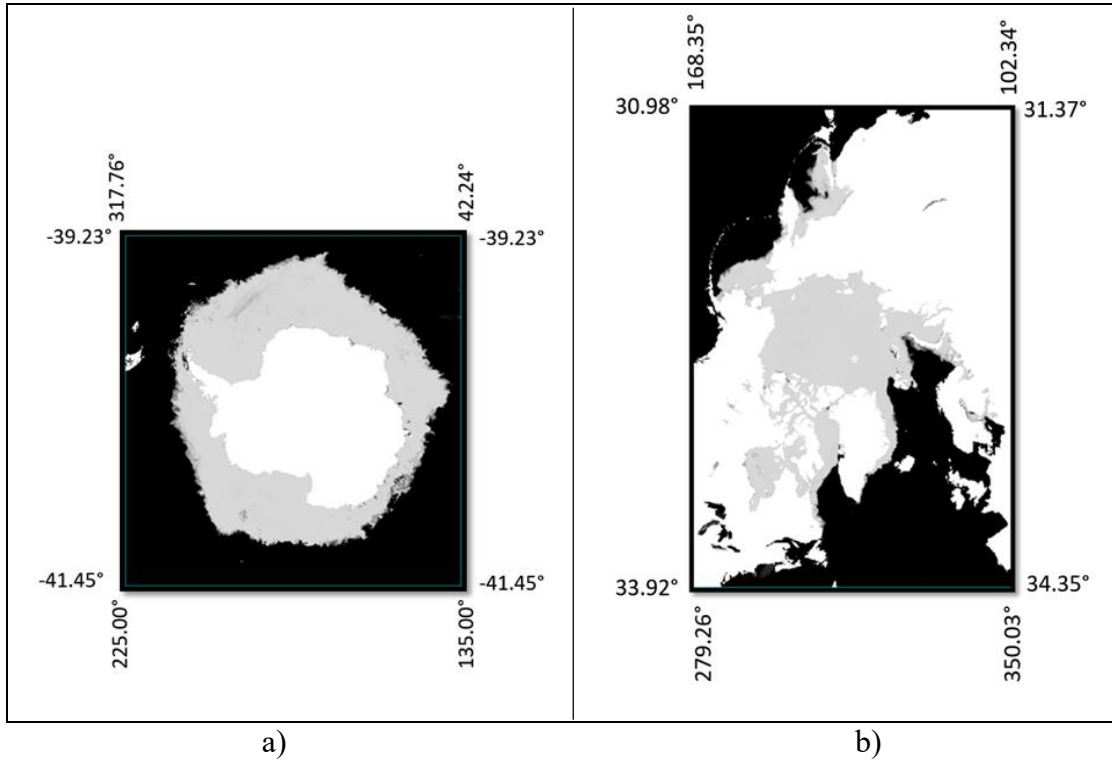
AMSR-E verisi algoritmalarla birlikte parlaklık sıcaklığı ve konsantrasyon verisi olarak hdf uzantılı dosyalar ile arşivlemektedirler. Bu tez için NSIDC arşivinden 2010 ve 2011 yıllarına ait Arktik 638 günlük ve Antarktik 638 günlük AMSR-E verileri teminin edilerek, toplamda 1276 görüntü üzerinde çalışılmıştır. İstatistik hesap çıktıları için ENVI 5.0 yazılımı kullanılmıştır. Konsantrasyon görüntüleri her bir gün için açılarak istatistik hesap çıktıları alınmıştır.

5.1. Bir Günlük AMSR-E Deniz Buzu Konsantrasyonu Görüntüsü ve İstatistiksel Değerlendirmesi

Aqua uydusu AMSR-E verisi piksel çözünürlükleri (12.5×12.5 km²) eşit olmasına karşın uydu yörüngesi ve yersel farlılıklardan dolayı piksel sayıları ve çerçeve oranları farklı olarak kullanılmaktadır. Tablo 5.1'de görüleceği üzere, Antarktik görüntüsü 419648 pikselden oluşan neredeyse bir karedir. Arktik görüntüsü ise 544,768 giridden oluşan bir dikdörtgen olarak sabit köşe koordinatlardan oluşmaktadır.

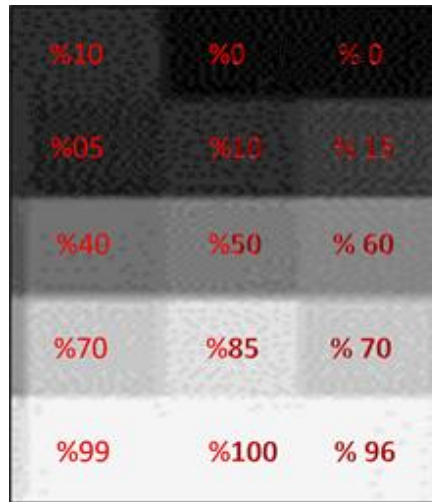
AMSR-E deniz buzu konsantrasyon verisi, çizgisel enterpolasyon yöntemiyle zenginleştirilerek oluşturulmuştur. Görüntüde bulunan siyah alanlar açık denizi, gri alanlar deniz buzunu ve çok beyaz alanlar koordinatları bilinen kara çizgisi içinde kalan buzulları ifade etmektedir. Konsantrasyon tüm görüntü içindeki açık gri piksellerin yerdeki deniz buzu yoğunluğunun yüzdesi olarak ifade edilir. Bir pikselin kapladığı alanın yarısı buz, yarısı su ise ya da büyük bir kısmı suya doymun genç buzlar ise konsantrasyon yüzdesi %50 olarak ifade edilir. Tüm görüntüdeki gri piksellerin toplamının alansal karşılığına ise konsantrasyon alanı denilmektedir.

Şekil 5.1'de görüleceği üzere Antarktik ve Arktik bölgeleri AMSR-E Konsantrasyon verisi köşe koordinatları ile belirtilmektedir. İki görüntünün enlemsel kapsamalarının, üzerinde bulundukları yörünge parametrelerinin ve şerit genişliklerinin farklı olmasından kaynaklanmadır. Bu sebeple elde edilen görüntülerin ölçekleri aynı olmasına karşın çerçeve ve piksel sayıları birbirlerinden farklıdır.



Sekil 5.1: a) Antarktik ve b) Arktik AMSR-E deniz buzu konsantrasyon verisi deniz buzu konsantrasyonu görüntüsü.

419648 pikselden oluşan Antarktik AMSR-E deniz buzu konsantrasyonu istatistiksel verilerinden Şekil 5.2’de gösterildiği üzere, 15 grid sayısında raster kesitin istatistiksel verisi yorumlandığında sol baştan ilk gridin içinde kalan alanın %10’u deniz buzu içermektedir.



Şekil 5.2: AMSR-E raster grid kesiti ve deniz buzu konsantrasyonu yüzdesi.

Tablo 5.1: AMSR-E raster grid kesiti ve deniz buz konsantrasyonu yüzdesi.

Girid Sayısı	Konsantrasyon Yüzdesi
2	%0
1	%05
2	%10
1	%15
1	%40
1	%50
1	%60
2	%70
1	%85
1	%96
1	%99
1	%100

Sekil 5.2 ve Tablo.5.1’de 2010.01.01 tarihine ait Antarktik bölgesi konsantrasyon istatistiksel sonuçlarının tablosu bulunmaktadır. Görüntülerin her biri 544,768 pikselden (gridden) oluşmaktadır. Kara alanları 87,968 piksel olarak belirlenip maskelenmiştir. Geriye kalan deniz alanlarının ve buz alanlarının konsantrasyon yüzdesi tabloda verilmektedir. Konsantrasyon yüzdesinin “0” olması hiç deniz buzı bulunmadığını yani açık deniz olduğunu ifade etmektedir. Bütün bir görüntüde açık deniz 279808 grid alanı temsil etmektedir. Antarktika bölgesinde 01.01.2010 tarihinde bulunan deniz buz konsantrasyonu %1 ve üzerinde bulunan piksel sayısı toplam 818,883 olarak hesaplanmaktadır. Tabloda konsantrasyonun %100 ün üzerinde bulunduğu piksel (grid) sayısı sıfır olarak gösterilmektedir. Ancak %110 bir istisnadır ve ölü piksel ya da hatalı piksel sayısını vermektedir.

Tablo 5.2: 01.01.2010 tarihli AMSR-E Antarktik deniz buzu konsantrasyonu istatistiksel verileri

Konsantrasyon Yüzdesi	Grid Sayısı	Toplam Grid Sayısı
0	279.808	279.808
1	47	279.855
2	166	280.021
3	256	280.277
4	251	280.528
5	260	280.788
6	272	281.060
7	224	281.284
8	252	281.536
9	214	281.750
10	205	281.955
11	204	282.159
12	197	282.356
13	196	282.552
14	174	282.726
15	175	282.901
16	172	283.073
17	158	283.231
18	150	283.381
19	167	283.548
20	157	283.705
21	170	283.875
22	160	284.035
23	147	284.182
24	167	284.349

Tablo 5.2: Devam

Konsantrasyon Yüzdesi	Grid Sayısı	Toplam Grid Sayısı
25	144	284.493
26	170	284.663
27	177	284.840
28	132	284.972
29	170	285.142
30	187	285.329
31	166	285.495
32	172	285.667
33	162	285.829
34	172	286.001
35	200	286.201
36	187	286.388
37	202	286.590
38	175	286.765
39	206	286.971
40	255	287.226
41	262	287.488
42	226	287.714
43	198	287.912
44	242	288.154
45	257	288.411
46	258	288.669
47	259	288.928
48	273	289.201
49	254	289.455

Tablo 5.2: Devam

Konsantrasyon Yüzdesi	Grid Sayısı	Toplam Grid Sayısı
50	278	289.733
51	291	290.024
52	302	290.326
53	280	290.606
54	313	290.919
55	275	291.194
56	304	291.498
57	284	291.782
58	276	292.058
59	305	292.363
60	304	292.667
61	313	292.980
62	300	293.280
63	306	293.586
64	310	293.896
65	326	294.222
66	302	294.524
67	302	294.826
68	305	295.131
69	312	295.443
70	325	295.768
71	309	296.077
72	354	296.431
73	342	296.773
74	343	297.116
75	311	297.427
76	358	297.785

Tablo 5.2: Devam

Konsantrasyon Yüzdesi	Grid Sayısı	Toplam Grid Sayısı
77	360	298.145
78	353	298.498
79	409	298.907
80	392	299.299
81	389	299.688
82	436	300.124
83	421	300.545
84	491	301.036
85	497	301.533
86	542	302.075
87	567	302.642
88	569	303.211
89	601	303.812
90	670	304.482
91	667	305.149
92	712	305.861
93	806	306.667
94	790	307.457
95	912	308.369
96	1.001	309.370
97	1.193	310.563
98	1.674	312.237
99	5.330	317.567
100	14.075	331.642
101	0	331.642
102	0	331.642
103	0	331.642

Tablo 5.2 Devam

Konsantrasyon Yüzdesi	Grid Sayısı	Toplam Grid Sayısı
104	0	331.642
105	0	331.642
106	0	331.642
107	0	331.642
108	0	331.642
109	0	331.642
110	38	331.680
111	0	331.680
112	0	331.680
113	0	331.680
114	0	331.680
115	0	331.680
116	0	331.680
117	0	331.680
118	0	331.680
119	0	331.680
120	87.968	419.648

Tablo 5.2’de gösterildiği gibi %100 ün üzerindeki piksel sayısı “0” olarak görülmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi %110 bir istisnadır ve ölü piksel ya da hatalı piksel sayısını %120 ise maskeli alanları göstermektedir. Tablo 5.1.’de 38 ölü piksel, 87.968 maskeli piksel bulunmaktadır. Maskeli alanlar kutup bölgelerinde kara alanlarıdır. Kara alanlarının maskelenmesinin sebebi üzerindeki buz olsun olmasın deniz buzu ve açık su algoritmalarına katılmamasını sağlamaktır. Kara buzulları çalışmaları yapılırken de deniz buzları ve açık sular maskelenebilir.

Antarktika bölgesinde hesaplandığı gibi, Arktik bölgesi için de %1 ve %100 arasında değer veren tüm piksellerin toplamı günlük olarak hesaplanmaktadır. Tablo 5.3’de gösterilmektedir. 01.01.2010 tarihli bir günlük toplam AMSR-E deniz buzu piksel sayısı ve konsantrasyon alanı belirtilmektedir.

Tablo 5.3: 01.01.2010 tarihli AMSR-E deniz buzu piksel sayısı ve konsantrasyon alanı.

Arktik		Antarktik	
Deniz Buzu Bulunan Piksel Sayısı	Alan (km ²)	Deniz Buzu Bulunan Piksel Sayısı	Alan (km ²)
81.883	12.794.219	51.834	8.099.063

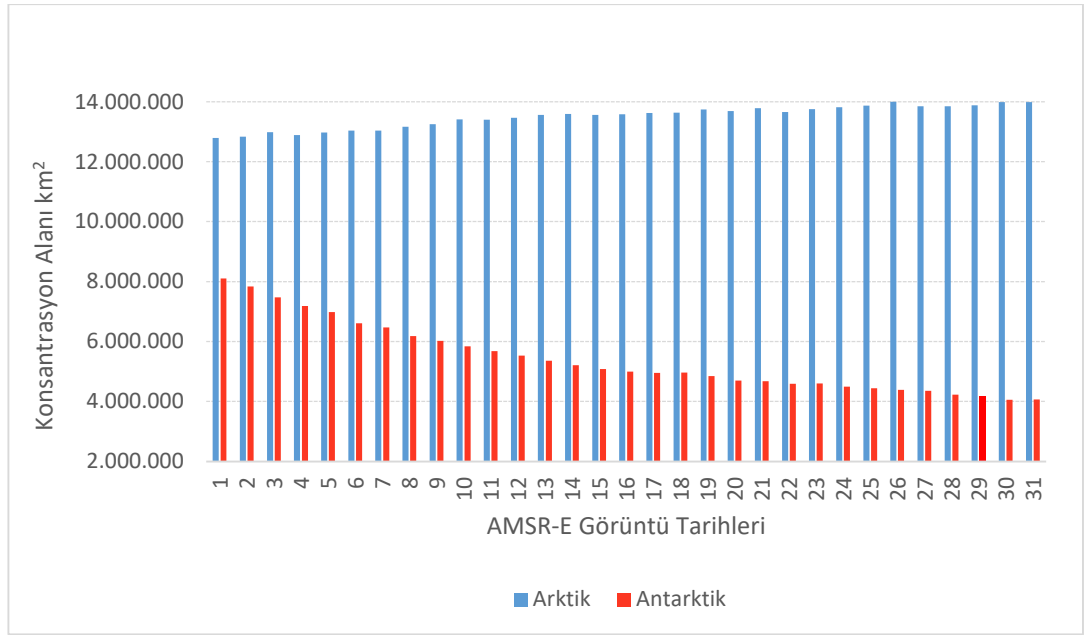
$$\text{Deniz Buzu Piksel Sayısı} \times 12.5 \text{ km}^2 \times 12.5 \text{ km}^2 = \text{Konsantrasyon Alanı (km}^2\text{)} \quad (5.1)$$

Tablo 5.3'den hesaplanarak elde edilen deniz buzu piksel sayıları piksel büyüklüğü ile çarpılarak konsantrasyon alanı hesaplanmıştır. ENVİ, yazılımıyla ulaşılan AMSR-E konsantrasyon görüntüleri istatistiksel hesapları text ve excel yazılımları kullanılarak 01.01.2010 - 30.09.2011 tarihleri aralığında toplamda 638 gün Arktik 638 gün Antarktik deniz buzları için hesaplanmıştır. Her aya ait günlük hesaplanmış deniz buzu alanları “Aylık Grafikler ve Tablolar” başlığı altında sunulmaktadır.

5.2 Aylık Grafikler ve Tablolar

01.2010 ve 30.09.2011 tarihleri arasındaki her gün için km² biriminde hesaplanan konsantrasyon alanları 21 grafik haline gösterilmektedir. Aynı tarihlerde zıt mevsimlerde olan Arktik ve Antarktik kutuplarının deniz buzu konsantrasyon alanının değişimi grafiklerde belirgin bir biçimde gözlemlenmektedir.

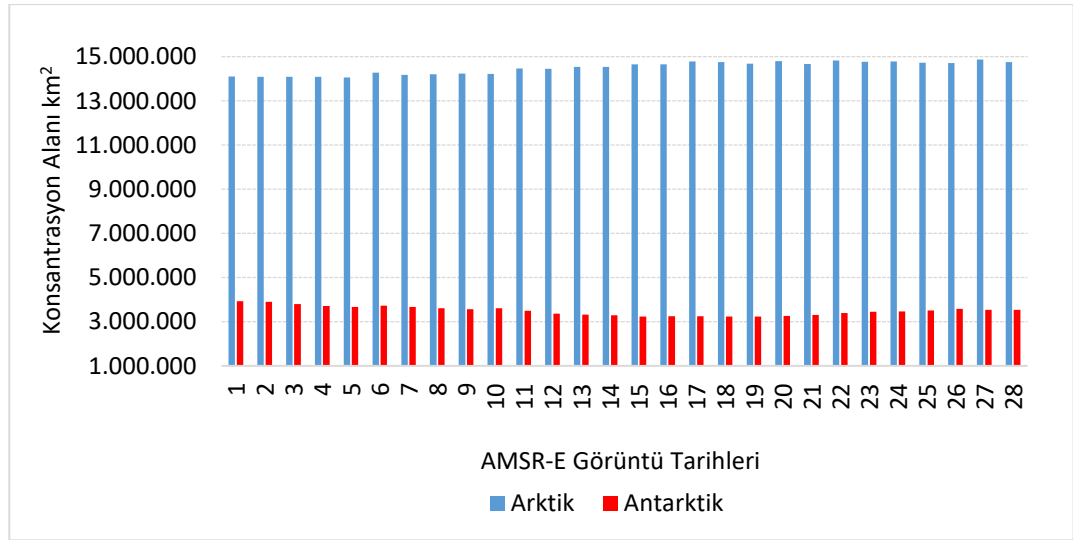
Tablo 5.3'de görüleceği üzere, 01.01.2010 tarihinden 31.01.2010 tarihine kadar günlük deniz buzu konsantrasyon alanları tablo halinde, Şekil 5.3'de ise grafik halinde gösterilmektedir.



Şekil.5.3: 2010 ocak ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Tablo 5.4: 2010 ocak ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2010-01-01	12794219	8099063		2010-01-17	13621719	4948438
2010-01-02	12838438	7837344		2010-01-18	13638125	4967031
2010-01-03	12987813	7477500		2010-01-19	13743906	4841875
2010-01-04	12884844	7189219		2010-01-20	13683438	4700313
2010-01-05	12974688	6978281		2010-01-21	13783281	4673281
2010-01-06	13035469	6605313		2010-01-22	13659844	4587969
2010-01-07	13035469	6469531		2010-01-23	13750938	4596406
2010-01-08	13169688	6181094		2010-01-24	13814375	4494219
2010-01-09	13246875	6018438		2010-01-25	13867656	4443594
2010-01-10	13408750	5844688		2010-01-26	13994375	4390781
2010-01-11	13395469	5677188		2010-01-27	13848125	4358594
2010-01-12	13469531	5529688		2010-01-28	13853906	4224063
2010-01-13	13557031	5364063		2010-01-29	13879688	4197031
2010-01-14	13590938	5207969		2010-01-30	13991875	4056094
2010-01-15	13563438	5076719		2010-01-31	13982656	4063750
2010-01-16	13576719	5000781				

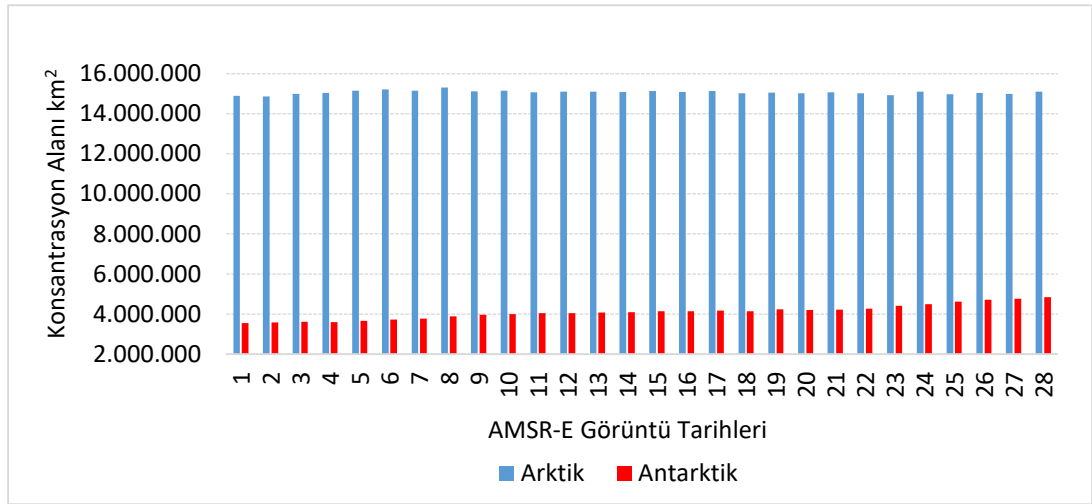


Şekil 5.4: 2010 şubat ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.4 ve Tablo 5.5’de gösterildiği üzere, Antarktik kıtası etrafındaki deniz buzu alanı 05.02.2010 tarihinde 3.674.219 km² olarak hesaplanmaktadır. Bu değer 2010 yılı boyunca Antarktik kıtası çevresinde bulunan en düşük deniz buzu alanı olarak belirlenmektedir.

Tablo 5.5: 2010 şubat ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2010-02-01	14104063	3930781		2010-02-15	14656250	3234219
2010-02-02	14085625	3906250		2010-02-16	14655781	3242813
2010-02-03	14085625	3796875		2010-02-17	14789063	3254219
2010-02-04	14085625	3718750		2010-02-18	14756250	3234531
2010-02-05	14067188	3674219		2010-02-19	14692969	3234844
2010-02-06	14279688	3731250		2010-02-20	14796250	3264531
2010-02-07	14174844	3668281		2010-02-21	14677656	3305469
2010-02-08	14214063	3618438		2010-02-22	14827969	3393281
2010-02-09	14237969	3570469		2010-02-23	14767344	3457969
2010-02-10	14226875	3607031		2010-02-24	14787813	3473594
2010-02-11	14476094	3495000		2010-02-25	14723750	3512031
2010-02-12	14455313	3363750		2010-02-26	14715000	3583438
2010-02-13	14537188	3328125		2010-02-27	14877656	3544688
2010-02-14	14547656	3287500		2010-02-28	14757500	3546094

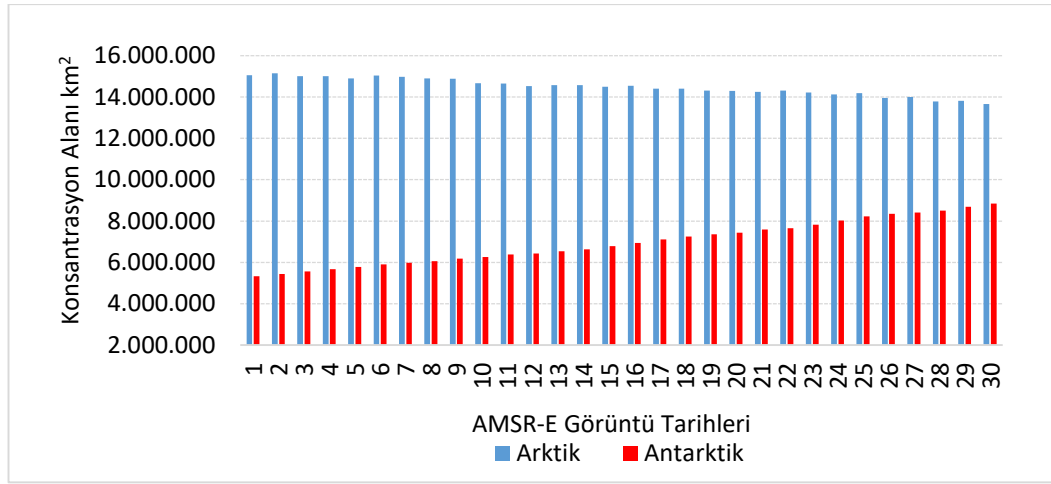


Şekil 5.5: 2010 mart ayı deniz buzı konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.5 ve Tablo 5.6’de görüldüğü üzere Arktik bölgesi, 08.03.2010 tarihinde 15.313.438 km² deniz buzı konsantrasyon alanıyla 2010 yılı genelinde en yüksek deniz buzı alanına ulaşmaktadır. Buna ek olarak, 21.03.2010 bahar ekinoksu tarihidir.

Tablo 5.6. 2010 mart ayı deniz buzı konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2010-03-01	14892969	3542969		2010-03-17	15129688	4165938
2010-03-02	14862188	3581406		2010-03-18	15022813	4140156
2010-03-03	14983125	3604844		2010-03-19	15055938	4229688
2010-03-04	15043906	3593750		2010-03-20	15026094	4200625
2010-03-05	15144219	3651406		2010-03-21	15063594	4217813
2010-03-06	15216875	3726250		2010-03-22	15025781	4273750
2010-03-07	15152031	3770781		2010-03-23	14926406	4403594
2010-03-08	15313438	3886875		2010-03-24	15108438	4487031
2010-03-09	15118281	3967344		2010-03-25	14973125	4616094
2010-03-10	15152813	3999844		2010-03-26	15044531	4707344
2010-03-11	15066563	4048750		2010-03-27	14993438	4755469
2010-03-12	15108125	4035781		2010-03-28	15104063	4844688
2010-03-13	15108125	4075469		2010-03-29	15167969	4959688
2010-03-14	15091719	4087188		2010-03-30	15190313	5083438
2010-03-15	15132031	4144375		2010-03-31	15243594	5199375
2010-03-16	15081406	4139844				

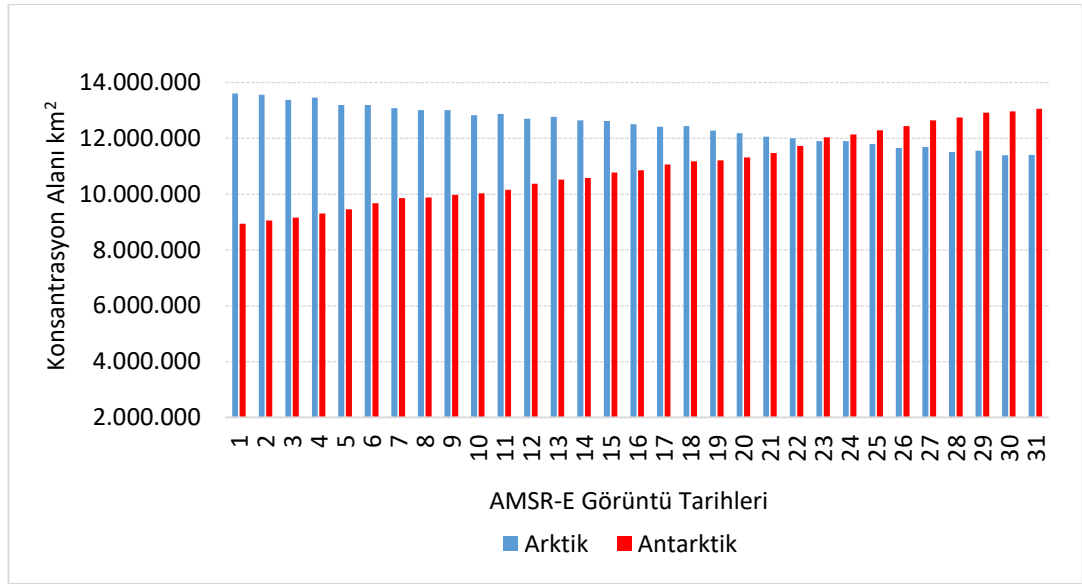


Şekil 5.6: 2010 nisan ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.6 ve Tablo 5.7’de görüldüğü üzere, nisan ayı süresince Arktik bölgesine ilkbaharın gelmesiyle deniz buzu alanlarında küçülme gerçekleşmektedir. Karşıt olarak Antarktik bölgesi sonbaharın gelmesiyle deniz buzunda büyüme gerçekleşmektedir. Antarktik bölgesindeki deniz buzundaki alansal büyüme hızının Arktik bölgesindeki küçülme hızından daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 5.7: 2010 nisan ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2010-04-01	15054375	5329531		2010-04-16	14541875	6938438
2010-04-02	15156563	5437188		2010-04-17	14403281	7106250
2010-04-03	15004219	5561719		2010-04-18	14412500	7250156
2010-04-04	15007188	5666094		2010-04-19	14305469	7353438
2010-04-05	14901406	5779531		2010-04-20	14304531	7443438
2010-04-06	15043125	5909063		2010-04-21	14247188	7587031
2010-04-07	14977031	5982031		2010-04-22	14305469	7661406
2010-04-08	14901563	6053750		2010-04-23	14222969	7829688
2010-04-09	14878125	6176719		2010-04-24	14125313	8026563
2010-04-10	14669219	6260313		2010-04-25	14192969	8232188
2010-04-11	14652969	6377813		2010-04-26	13954063	8352656
2010-04-12	14525625	6433438		2010-04-27	14008750	8417813
2010-04-13	14568594	6533906		2010-04-28	13792344	8503281
2010-04-14	14579531	6634844		2010-04-29	13822813	8693281
2010-04-15	14494688	6787031		2010-04-30	13666250	8849688

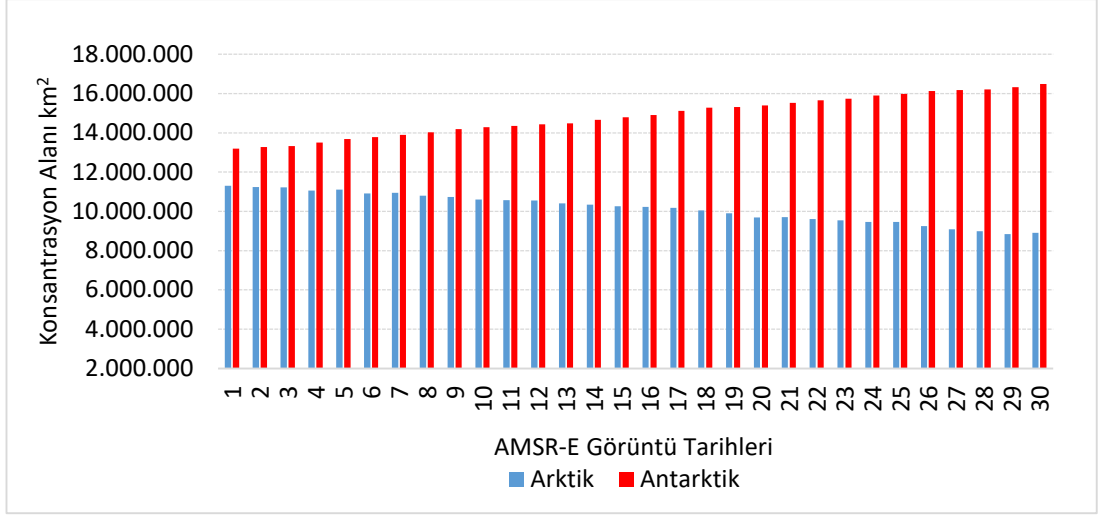


Şekil 5.7: 2010 mayıs ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.7 ve Tablo 5.8’de görüldüğü üzere, 23.05.2010 tarihinde Arktik ve Antarktik deniz buzu alanlarının sırasıyla 11.900.781 km² ve 12.035.938 km² değerleriyle neredeyse birbirlerine eşit olduğu tespit edilmektedir.

Tablo 5.8. 2010 mayıs ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2010-05-01	13609531	8941719		2010-05-17	12412969	11062656
2010-05-02	13565000	9054063		2010-05-18	12445156	11180000
2010-05-03	13382188	9155156		2010-05-19	12277031	11211719
2010-05-04	13456406	9312344		2010-05-20	12192344	11311250
2010-05-05	13198594	9455625		2010-05-21	12065781	11478750
2010-05-06	13193594	9679375		2010-05-22	12000469	11726875
2010-05-07	13080781	9859688		2010-05-23	11900781	12035938
2010-05-08	13011406	9887500		2010-05-24	11906094	12142656
2010-05-09	13015781	9976094		2010-05-25	11800938	12287813
2010-05-10	12835469	10030469		2010-05-26	11663594	12442188
2010-05-11	12874219	10158281		2010-05-27	11690938	12649531
2010-05-12	12704063	10373750		2010-05-28	11507813	12753750
2010-05-13	12766875	10520625		2010-05-29	11554063	12926875
2010-05-14	12651875	10587031		2010-05-30	11400313	12961875
2010-05-15	12627656	10779531		2010-05-31	11407500	13064375
2010-05-16	12511250	10855313				

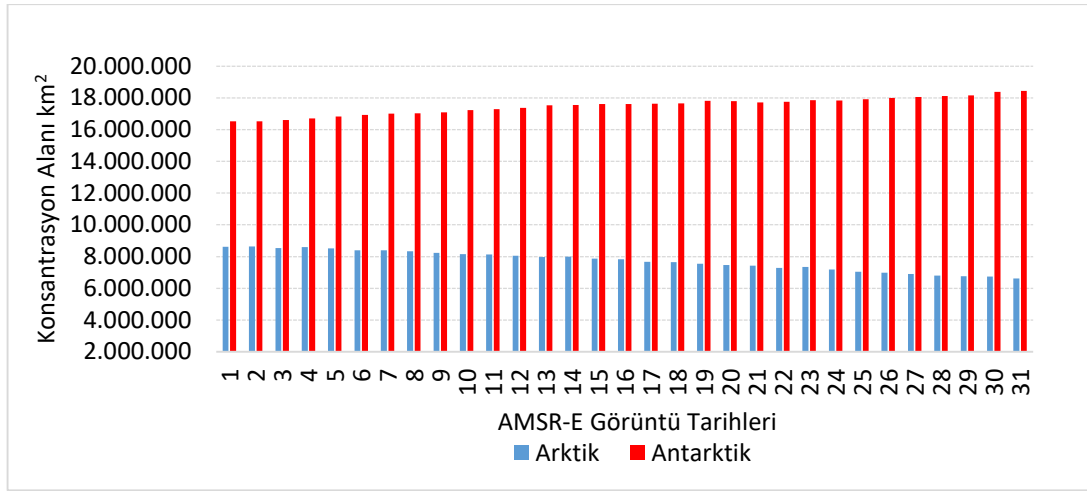


Şekil 5.8: 2010 haziran ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.8 ve Tablo 5.9’da gösterildiği üzere, 2010 haziran ayı süresince, Antarktik deniz buzu alanları artmaya, Arktik deniz buzu alanları azalmaya devam etmektedir.

Tablo 5.9. 2010 haziran ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2010-06-01	11307344	13197500		2010-06-16	10224531	14908281
2010-06-02	11237500	13271875		2010-06-17	10169531	15114063
2010-06-03	11224844	13332188		2010-06-18	10052969	15287344
2010-06-04	11062813	13497344		2010-06-19	9901875	15309375
2010-06-05	11099531	13676563		2010-06-20	9690938	15400938
2010-06-06	10907031	13787813		2010-06-21	9710625	15531406
2010-06-07	10945781	13902500		2010-06-22	9605000	15661875
2010-06-08	10796719	14017813		2010-06-23	9535156	15730781
2010-06-09	10723906	14194844		2010-06-24	9466563	15901719
2010-06-10	10607813	14278750		2010-06-25	9463438	15984375
2010-06-11	10574531	14354531		2010-06-26	9250000	16123438
2010-06-12	10546406	14430313		2010-06-27	9087031	16184844
2010-06-13	10399219	14482500		2010-06-28	8988594	16211719
2010-06-14	10342031	14658438		2010-06-29	8837500	16326563
2010-06-15	10260313	14797031		2010-06-30	8900938	16492813

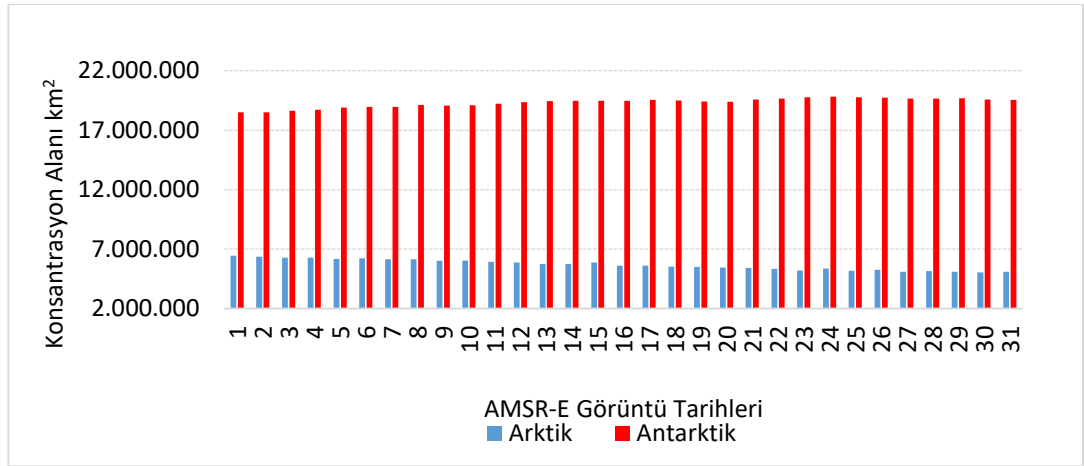


Şekil 5.9: 2010 temmuz ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.9 ve Tablo 5.10’da gösterildiği üzere, temmuz ayı boyunca Antarktik deniz buzu alanları artmaya, Antarktik deniz buzu alanları ise azalmaya devam etmektedir.

Tablo 5.10: 2010 temmuz ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2010-07-01	8621563	16522656		2010-07-17	7667500	17632813
2010-07-02	8635313	16518125		2010-07-18	7644688	17654531
2010-07-03	8544531	16607188		2010-07-19	7543438	17811875
2010-07-04	8588281	16701406		2010-07-20	7463438	17802344
2010-07-05	8511719	16823906		2010-07-21	7430625	17718438
2010-07-06	8387188	16931875		2010-07-22	7278906	17748594
2010-07-07	8388594	17001250		2010-07-23	7340313	17850625
2010-07-08	8336094	17021094		2010-07-24	7189375	17844219
2010-07-09	8238438	17083438		2010-07-25	7045313	17920781
2010-07-10	8155781	17232188		2010-07-26	6976875	18000469
2010-07-11	8138438	17288594		2010-07-27	6892344	18058438
2010-07-12	8046563	17372500		2010-07-28	6806875	18114219
2010-07-13	7963281	17528906		2010-07-29	6762500	18166875
2010-07-14	7984219	17561406		2010-07-30	6737344	18374688
2010-07-15	7879375	17614531		2010-07-31	6616094	18447813
2010-07-16	7830156	17616875				

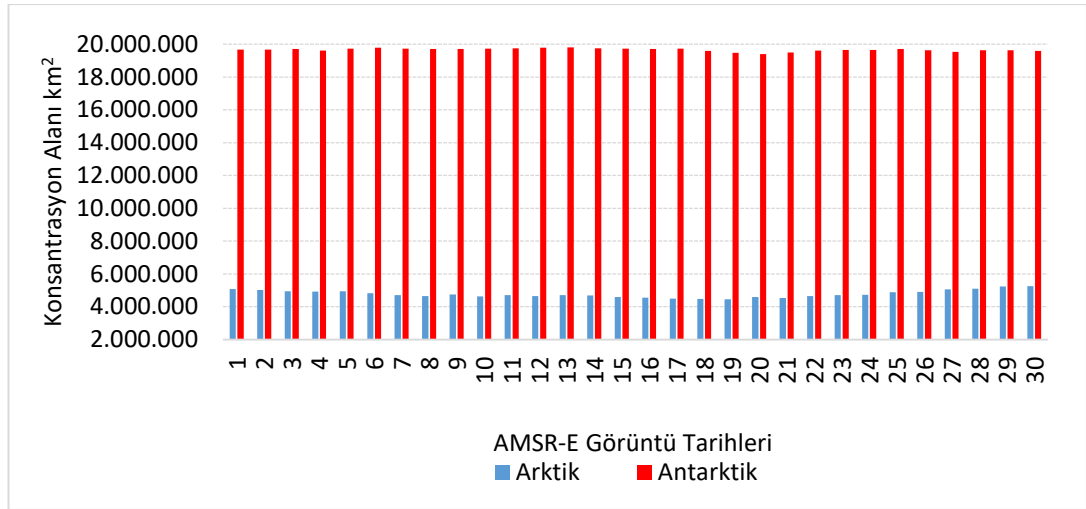


Şekil 5.10: 2010 ağustos ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.10 ve Tablo 5.11’de gösterildiği üzere, 24.08.2010 tarihinde Antarktik bölgesi 19.823.906 km² deniz buzu alanıyla 2010 içindeki maksimum seviyeye ulaştığı belirlenmektedir.

Tablo 5.11: 2010 ağustos ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2010-08-01	6425625	18501563		2010-08-17	5611094	19568125
2010-08-02	6360469	18501563		2010-08-18	5524531	19493438
2010-08-03	6288281	18632031		2010-08-19	5506094	19434375
2010-08-04	6282188	18731406		2010-08-20	5442344	19408594
2010-08-05	6175469	18908125		2010-08-21	5412344	19586875
2010-08-06	6222188	18957188		2010-08-22	5339844	19655469
2010-08-07	6152031	18977031		2010-08-23	5210156	19765625
2010-08-08	6136250	19120781		2010-08-24	5363281	19823906
2010-08-09	6000938	19072969		2010-08-25	5173594	19785156
2010-08-10	6020469	19105469		2010-08-26	5247813	19733125
2010-08-11	5926875	19226250		2010-08-27	5092344	19660469
2010-08-12	5884063	19361563		2010-08-28	5143906	19661406
2010-08-13	5746094	19442188		2010-08-29	5095781	19701563
2010-08-14	5743594	19476406		2010-08-30	5048438	19577344
2010-08-15	5869219	19489063		2010-08-31	5081563	19563906
2010-08-16	5611719	19481719				

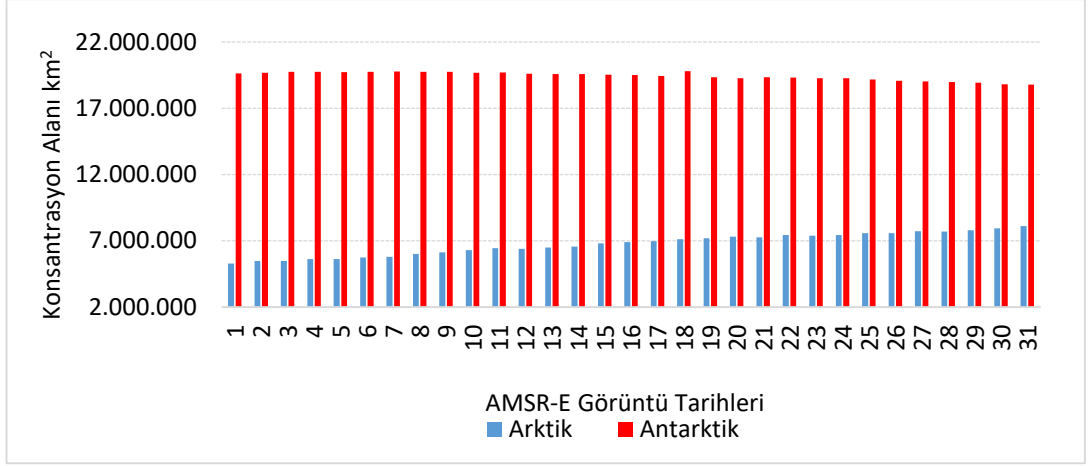


Şekil 5.11: 2010 eylül ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.11 ve Tablo 5.11’de gösterildiği üzere, 19.09.2010 tarihinde Arktik bölgesi 4465469km² deniz buzu alanıyla 2010 içindeki minimum seviyeye ulaştığı belirlenmektedir.

Tablo 5.11: 2010 eylül ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2010-09-01	5084063	19672188		2010-09-16	4563281	19711406
2010-09-02	5021250	19683125		2010-09-17	4498438	19725000
2010-09-03	4942969	19713594		2010-09-18	4482031	19605781
2010-09-04	4930000	19618281		2010-09-19	4465469	19486563
2010-09-05	4953750	19732969		2010-09-20	4593750	19397500
2010-09-06	4833125	19800000		2010-09-21	4541719	19505938
2010-09-07	4711563	19743125		2010-09-22	4652344	19611563
2010-09-08	4644063	19707344		2010-09-23	4707969	19657188
2010-09-09	4750938	19720000		2010-09-24	4732656	19649219
2010-09-10	4636250	19731719		2010-09-25	4890000	19706719
2010-09-11	4719375	19755781		2010-09-26	4904531	19645000
2010-09-12	4661406	19788438		2010-09-27	5059688	19540469
2010-09-13	4719688	19804063		2010-09-28	5094531	19632344
2010-09-14	4695000	19746875		2010-09-29	5246875	19641719
2010-09-15	4588594	19732969		2010-09-30	5257188	19591094

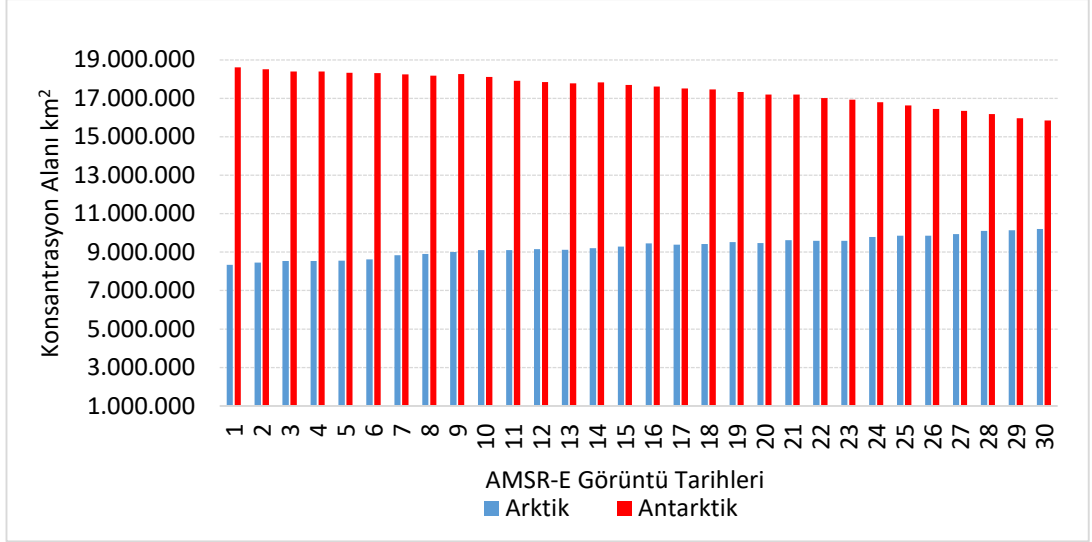


Şekil 5.12: 2010 ekim ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.12 ve Tablo 5.13’de gösterildiği üzere Antarktik bölgesi erimeye Arktik bölgesi ise donmaya başlamıştır. Arktik bölgesinde deniz buzu oluşum hızı, Antarktik bölgesi deniz buzu erime hızından daha yüksektir.

Tablo 5.13: 2010 ekim ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2010-10-01	5279219	19628750		2010-10-17	6975938	19421719
2010-10-02	5467188	19681563		2010-10-18	7126250	19783750
2010-10-03	5476250	19739844		2010-10-19	7180781	19333906
2010-10-04	5625469	19737969		2010-10-20	7308438	19271094
2010-10-05	5612813	19722500		2010-10-21	7265000	19328438
2010-10-06	5738594	19737031		2010-10-22	7422813	19321406
2010-10-07	5784063	19770469		2010-10-23	7391875	19260469
2010-10-08	6005781	19758125		2010-10-24	7431563	19266250
2010-10-09	6133125	19743281		2010-10-25	7582813	19165469
2010-10-10	6298594	19685313		2010-10-26	7580625	19069844
2010-10-11	6448906	19697500		2010-10-27	7718594	19022813
2010-10-12	6389063	19603125		2010-10-28	7689219	18970313
2010-10-13	6497031	19588750		2010-10-29	7806094	18930938
2010-10-14	6558750	19569063		2010-10-30	7932813	18816563
2010-10-15	6814375	19536094		2010-10-31	8102813	18781094
2010-10-16	6911250	19497031				

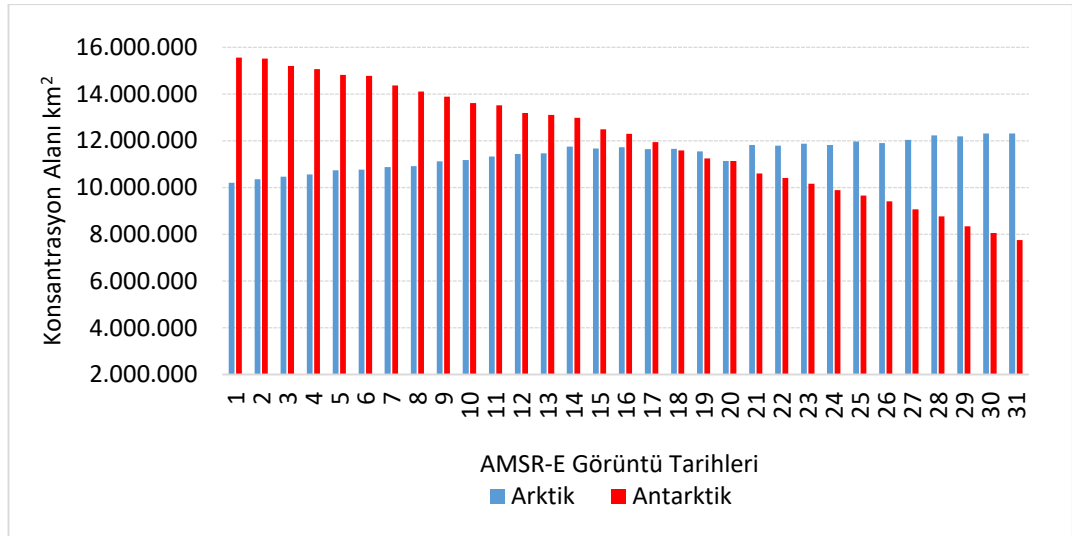


Şekil 5.13: 2010 kasım ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.13 ve Tablo 5.14’de gösterildiği üzere, Arktik bölgesinde deniz buzu oluşum hızı, Antarktik bölgesindeki deniz buzu erime hızından daha azdır.

Tablo 5.14: 2010 kasım ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2010-11-01	8337031	18602500		2010-11-16	9447344	17618594
2010-11-02	8461719	18517656		2010-11-17	9391875	17506094
2010-11-03	8537969	18386875		2010-11-18	9419219	17466094
2010-11-04	8537813	18392344		2010-11-19	9523125	17325156
2010-11-05	8560469	18333281		2010-11-20	9466719	17196563
2010-11-06	8626875	18303125		2010-11-21	9622031	17198438
2010-11-07	8838906	18237969		2010-11-22	9586563	17008594
2010-11-08	8900781	18180469		2010-11-23	9592500	16923125
2010-11-09	9010313	18253594		2010-11-24	9793438	16794063
2010-11-10	9108594	18102813		2010-11-25	9852031	16634375
2010-11-11	9111719	17916250		2010-11-26	9850781	16448594
2010-11-12	9158438	17852656		2010-11-27	9945625	16345781
2010-11-13	9116250	17785156		2010-11-28	10109688	16180313
2010-11-14	9198281	17826094		2010-11-29	10135938	15960313
2010-11-15	9284688	17700625		2010-11-30	10209688	15853125

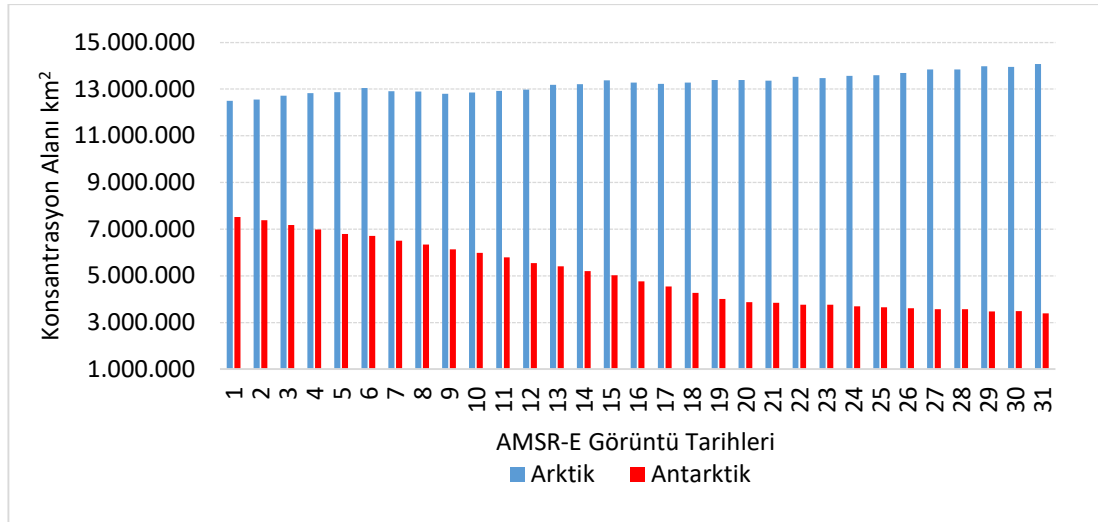


Şekil 5.14: 2010 aralık ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.14 ve Tablo 5.15’de gösterildiği üzere, 23.01.2010 tarihinde Arktik ve Antarktik deniz buzu alanları birbirlerine eşit olarak 11.136.250 km² hesaplanmaktadır.

Tablo 5.15: 2010 aralık ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2010-12-01	10211250	15561875		2010-12-17	11639531	11949375
2010-12-02	10356250	15519219		2010-12-18	11651406	11589531
2010-12-03	10470781	15196719		2010-12-19	11549844	11253750
2010-12-04	10557656	15064375		2010-12-20	11136250	11136250
2010-12-05	10738750	14815625		2010-12-21	11820313	10599844
2010-12-06	10771406	14773438		2010-12-22	11794688	10417969
2010-12-07	10881875	14368281		2010-12-23	11875469	10171250
2010-12-08	10915156	14106875		2010-12-24	11816406	9887656
2010-12-09	11127500	13882813		2010-12-25	11967188	9664219
2010-12-10	11183125	13615000		2010-12-26	11907188	9407656
2010-12-11	11330313	13521406		2010-12-27	12041875	9065156
2010-12-12	11440625	13193594		2010-12-28	12230000	8773594
2010-12-13	11470469	13102031		2010-12-29	12194063	8347188
2010-12-14	11749688	12988281		2010-12-30	12316719	8060469
2010-12-15	11664688	12491406		2010-12-31	12312031	7754219
2010-12-16	11723125	12300625				

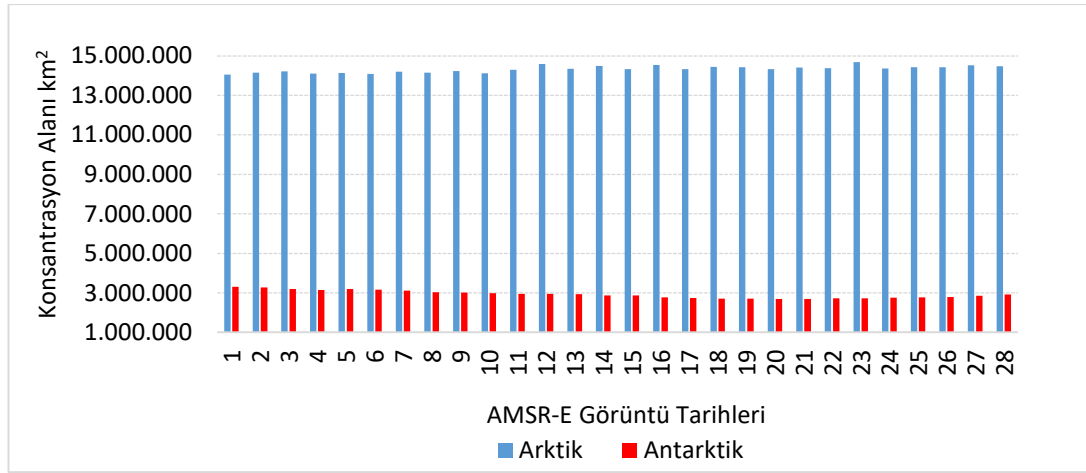


Şekil 5.15: 2011 ocak ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.15 ve Tablo 5.16’de gösterildiği üzere, Arktik bölgesi deniz buzulları alanı oluşum hızı Antarktik buzlarının erime hızına göre daha yavaştır.

Tablo 5.16: 2011 ocak ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2011-01-01	12497969	7517813		2011-01-17	13230781	4548125
2011-01-02	12553750	7386094		2011-01-18	13273594	4271563
2011-01-03	12710781	7171875		2011-01-19	13386875	4012969
2011-01-04	12824688	6988125		2011-01-20	13390469	3871719
2011-01-05	12871094	6794531		2011-01-21	13367969	3848906
2011-01-06	13048750	6704688		2011-01-22	13528438	3765938
2011-01-07	12905469	6509063		2011-01-23	13465313	3757813
2011-01-08	12890781	6346094		2011-01-24	13565781	3690000
2011-01-09	12805625	6135313		2011-01-25	13591094	3655469
2011-01-10	12854844	5990625		2011-01-26	13688594	3607969
2011-01-11	12921406	5797969		2011-01-27	13847813	3567031
2011-01-12	12981250	5546406		2011-01-28	13842813	3577031
2011-01-13	13187344	5401563		2011-01-29	13984844	3476875
2011-01-14	13205469	5196406		2011-01-30	13945781	3482344
2011-01-15	13375938	5022344		2011-01-31	14074688	3398281
2011-01-16	13272500	4758281				

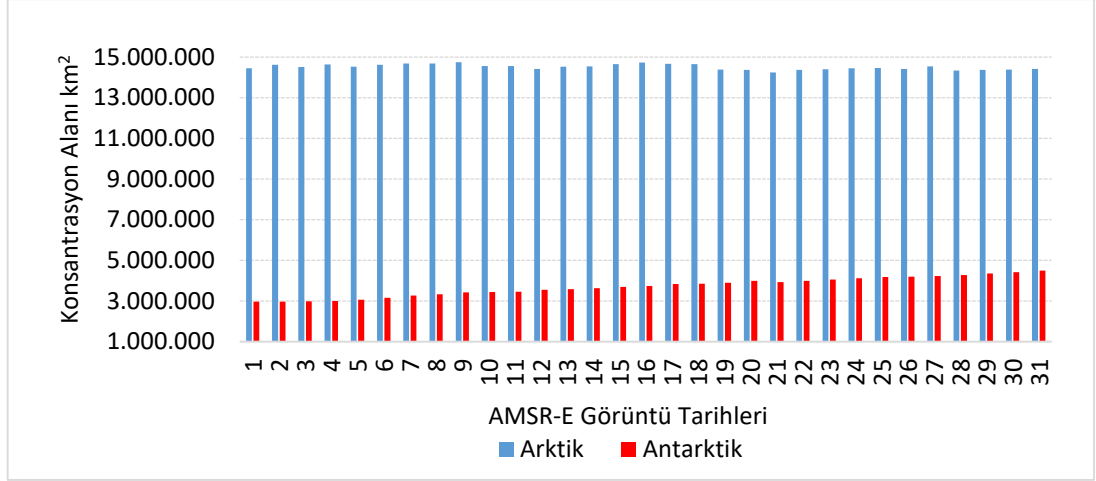


Şekil 5.16: 2011 şubat ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.16 ve Tablo 5.17’de gösterildiği üzere, Antarktik kıtası etrafındaki deniz buzu alanı 21 şubat tarihinde 2.696.250 km² olarak hesaplanmaktadır. Bu değer 2011 yılı boyunca Antarktik kıtası çevresinde bulunan en düşük deniz buzu alanı olarak belirlenmektedir. 05.02.2010 tarihinde minimum deniz buzu 3.674.219 km² olarak belirlenmektedir. 2011 yılında kalan buzun daha az olduğu belirlenmektedir.

Tablo 5.17: 2011 şubat ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2011-02-01	14051875	3310156		2011-02-15	14328906	2868281
2011-02-02	14152813	3270469		2011-02-16	14546406	2777813
2011-02-03	14213125	3192969		2011-02-17	14326875	2745469
2011-02-04	14103125	3150781		2011-02-18	14441406	2711719
2011-02-05	14130000	3191250		2011-02-19	14421875	2702813
2011-02-06	14087344	3160000		2011-02-20	14334063	2698281
2011-02-07	14192500	3109531		2011-02-21	14414219	2696250
2011-02-08	14149688	3040625		2011-02-22	14379063	2722344
2011-02-09	14227656	3013906		2011-02-23	14688594	2725781
2011-02-10	14115313	2990469		2011-02-24	14360469	2760625
2011-02-11	14295313	2950156		2011-02-25	14429063	2767344
2011-02-12	14583281	2959844		2011-02-26	14420313	2784063
2011-02-13	14337188	2933750		2011-02-27	14527969	2857344
2011-02-14	14488125	2874844		2011-02-28	14475781	2923438

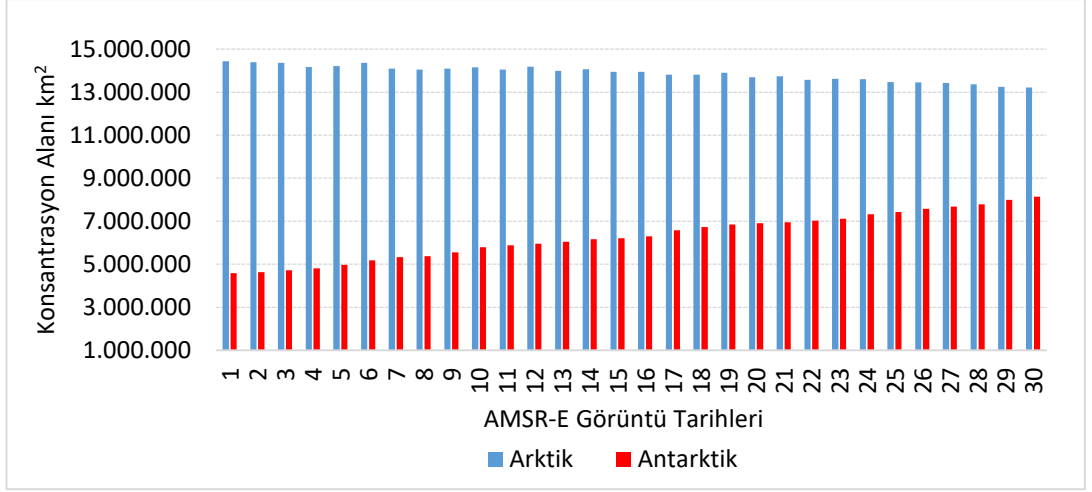


Şekil 5.17: 2011 mart ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.17 ve Tablo 5.18’de gösterildiği üzere Arktik bölgesi deniz buzu alanları mart ayı boyunca yaklaşık aynı değerleri göstermekte iken Antarktik bölgesi deniz buzu alanlarında artış görülmektedir.

Tablo 5.18: 2010 mart ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2011-03-01	14450313	2982344		2011-03-17	14676406	3836719
2011-03-02	14631875	2967969		2011-03-18	14664844	3853281
2011-03-03	14512500	2983594		2011-03-19	14383125	3910000
2011-03-04	14635625	3010625		2011-03-20	14379219	3991719
2011-03-05	14534375	3074375		2011-03-21	14246563	3942344
2011-03-06	14622656	3162656		2011-03-22	14374844	3995469
2011-03-07	14688906	3273750		2011-03-23	14399844	4055156
2011-03-08	14689219	3339375		2011-03-24	14447813	4124844
2011-03-09	14755469	3439219		2011-03-25	14476719	4188594
2011-03-10	14558281	3442813		2011-03-26	14415000	4200938
2011-03-11	14556875	3470313		2011-03-27	14545000	4229375
2011-03-12	14418281	3555781		2011-03-28	14342969	4284531
2011-03-13	14539219	3582500		2011-03-29	14380313	4361406
2011-03-14	14549531	3636406		2011-03-30	14382344	4427813
2011-03-15	14653750	3702500		2011-03-31	14428594	4505469
2011-03-16	14738281	3743906				

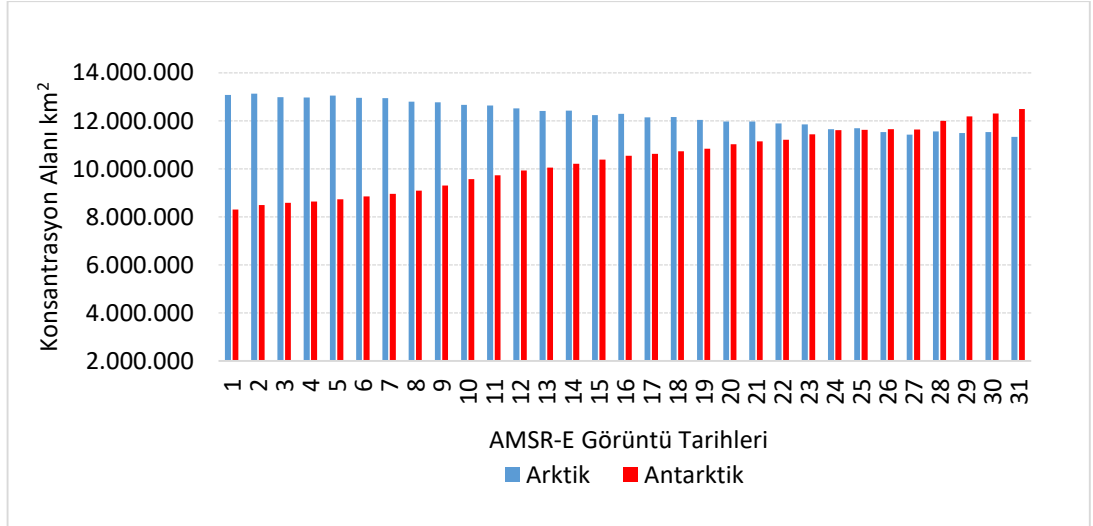


Şekil 5.18: 2011 nisan ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.18 ve Tablo 5.19’da gösterildiği üzere, Arktik bölgesi deniz buzu alanları nisan ayı boyunca düşük hızla gerçekleşen bir erime görülmekte iken Antarktik bölgesi deniz buzu alanlarında hızlı bir artış görülmektedir.

Tablo 5.19: 2011 nisan ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2011-04-01	14432188	4596094		2011-04-16	13945156	6302656
2011-04-02	14398594	4633750		2011-04-17	13810313	6589063
2011-04-03	14359531	4726250		2011-04-18	13812031	6730000
2011-04-04	14174844	4811719		2011-04-19	13895000	6843906
2011-04-05	14206094	4979844		2011-04-20	13694219	6905781
2011-04-06	14359063	5177031		2011-04-21	13730000	6949063
2011-04-07	14086875	5327500		2011-04-22	13578906	7029844
2011-04-08	14056875	5378125		2011-04-23	13611875	7116719
2011-04-09	14090000	5555625		2011-04-24	13600938	7324531
2011-04-10	14150938	5799531		2011-04-25	13476406	7434375
2011-04-11	14046250	5875781		2011-04-26	13454688	7583281
2011-04-12	14183125	5952656		2011-04-27	13420625	7680000
2011-04-13	13983281	6044375		2011-04-28	13369844	7793906
2011-04-14	14070781	6165781		2011-04-29	13247969	7993281
2011-04-15	13938906	6207969		2011-04-30	13218750	8137813

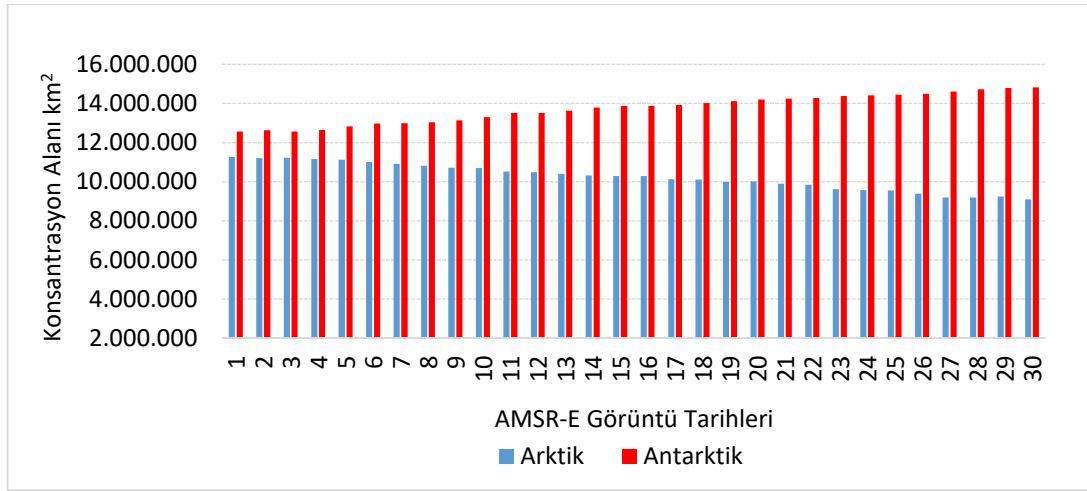


Şekil 5.19: 2011 mayıs ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.19 ve Tablo 5.20’de görüldüğü üzere, 24.05.2011 tarihinde Arktik ve Antarktik deniz buzu alanlarının sırasıyla 11.660.156 km² ve 11.613.281 km² değerleriyle neredeyse birbirlerine eşit olduğu tespit edilmektedir.

Tablo 5.20: 2011 mayıs ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2011-05-01	13080313	8312031		2011-05-16	12292813	10544219
2011-05-02	13126875	8491094		2011-05-17	12148906	10625781
2011-05-03	12993125	8582969		2011-05-18	12155313	10729063
2011-05-04	12979688	8647969		2011-05-19	12043281	10847188
2011-05-05	13059219	8730156		2011-05-20	11967188	11023906
2011-05-06	12962813	8848438		2011-05-21	11971406	11146563
2011-05-07	12953125	8967656		2011-05-22	11887500	11215625
2011-05-08	12796094	9095781		2011-05-23	11860313	11435313
2011-05-09	12770469	9313594		2011-05-24	11660156	11613281
2011-05-10	12668594	9576563		2011-05-25	11697969	11625313
2011-05-11	12634531	9737031		2011-05-26	11539688	11659844
2011-05-12	12522969	9935313		2011-05-27	11425313	11646719
2011-05-13	12410000	10047969		2011-05-28	11560938	12002188
2011-05-14	12430625	10207813		2011-05-29	11500313	12187813
2011-05-15	12244063	10383750		2011-05-30	11538438	12302188

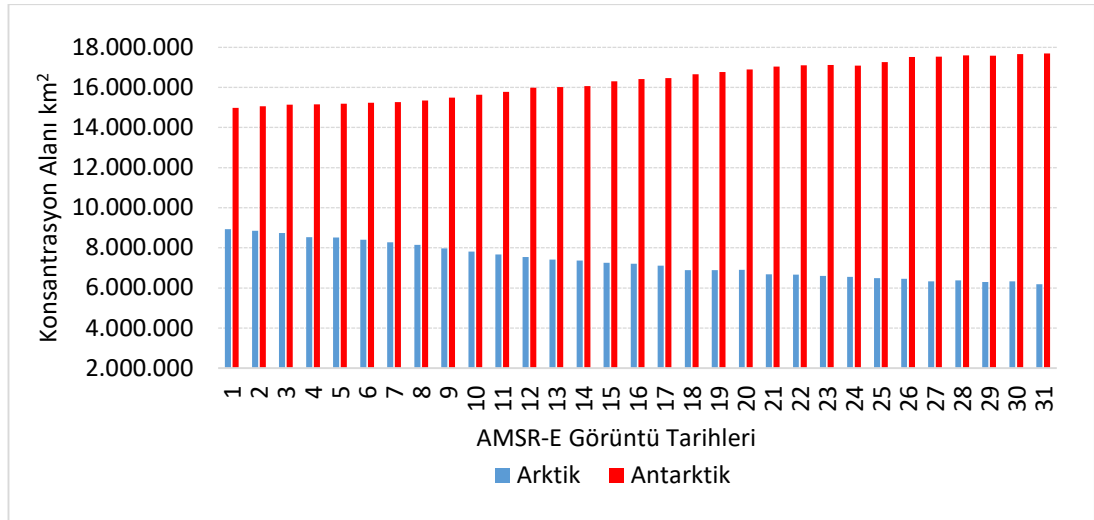


Şekil 5.20: 2011 haziran ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.20 ve Tablo 5.21’de gösterildiği üzere, haziran ayı süresince, Antarktik deniz buzu alanları artmaya, Arktik deniz buzu alanları azalmaya devam etmektedir.

Tablo 5.21: 2011 haziran ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2011-05-31	11336250	12492813		2011-06-16	10284531	13867344
2011-06-01	11270781	12558594		2011-06-17	10120000	13917188
2011-06-02	11205156	12624219		2011-06-18	10112031	14024844
2011-06-03	11227344	12559688		2011-06-19	9998750	14112500
2011-06-04	11164063	12654219		2011-06-20	10006719	14206563
2011-06-05	11120469	12820469		2011-06-21	9896719	14248906
2011-06-06	11011719	12977500		2011-06-22	9846094	14278750
2011-06-07	10917188	12987188		2011-06-23	9622656	14375469
2011-06-08	10806406	13044688		2011-06-24	9570938	14419219
2011-06-09	10708281	13138750		2011-06-25	9561250	14453594
2011-06-10	10706094	13302188		2011-06-26	9391406	14502656
2011-06-11	10513438	13522813		2011-06-27	9199063	14608438
2011-06-12	10486719	13514844		2011-06-28	9192188	14724688
2011-06-13	10400469	13629219		2011-06-29	9244375	14792500
2011-06-14	10319531	13795469		2011-06-30	9099219	14832188
2011-06-15	10284531	13867344				

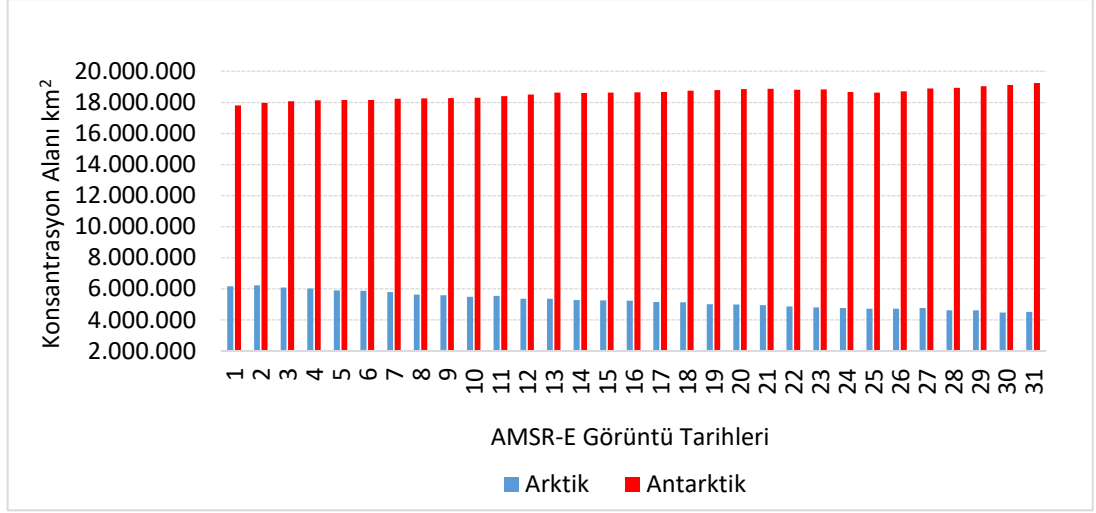


Şekil 5.21: 2011 temmuz ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.21 ve Tablo 5.22’de gösterildiği üzere, temmuz ayı süresince, Antarktik deniz buzu alanları artmaya, Arktik deniz buzu alanları azalmaya devam etmektedir.

Tablo 5.22: 2011 temmuz ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2011-07-01	8936563	14982969		2011-07-17	7102344	16464688
2011-07-02	8848594	15061875		2011-07-18	6892344	16655156
2011-07-03	8731875	15137031		2011-07-19	6889375	16757969
2011-07-04	8529375	15148594		2011-07-20	6900938	16893750
2011-07-05	8509219	15182500		2011-07-21	6683281	17042813
2011-07-06	8397813	15240625		2011-07-22	6658125	17101406
2011-07-07	8276250	15268750		2011-07-23	6606719	17111094
2011-07-08	8151250	15342969		2011-07-24	6555313	17086719
2011-07-09	7965781	15480938		2011-07-25	6494063	17261875
2011-07-10	7813281	15628281		2011-07-26	6450781	17507500
2011-07-11	7660625	15775781		2011-07-27	6328438	17537344
2011-07-12	7540625	15983438		2011-07-28	6368594	17588125
2011-07-13	7410469	16009844		2011-07-29	6287813	17574844
2011-07-14	7358281	16057813		2011-07-30	6334219	17663750
2011-07-15	7257031	16297813		2011-07-31	6180000	17696406
2011-07-16	7199219	16413906				

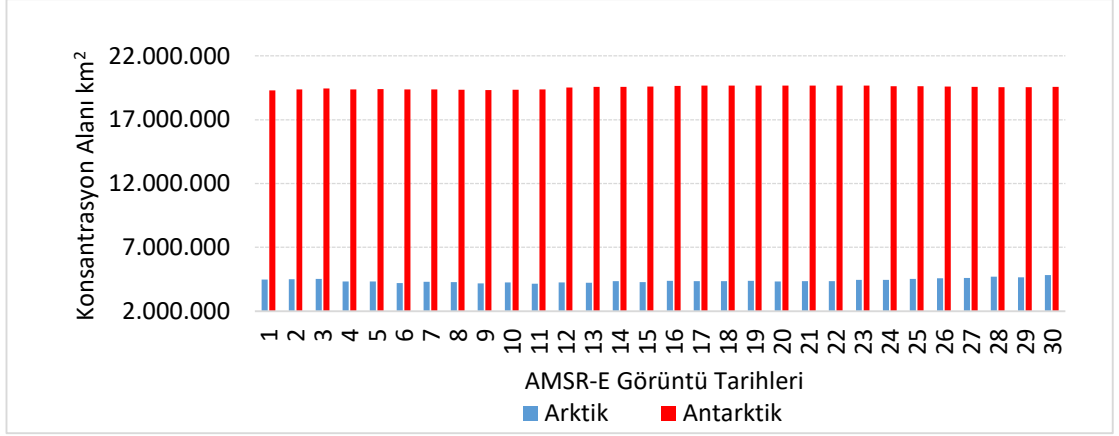


Şekil 5.22: 2011 ağustos ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafiği.

Şekil 5.22 ve Tablo 5.23’de gösterildiği üzere, ağustos ayı süresince, Antarktik deniz buzu alanları artmaya, Arktik deniz buzu alanları azalmaya devam etmektedir.

Tablo 5.23: 2011 ağustos ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)		Tarih	Arktik (km²)	Antarktik (km²)
2011-08-01	6156250	17802656		2011-08-17	5163594	18665313
2011-08-02	6219531	17979063		2011-08-18	5125625	18750000
2011-08-03	6071875	18075313		2011-08-19	5018281	18796094
2011-08-04	6024688	18142188		2011-08-20	4981094	18850156
2011-08-05	5892969	18160000		2011-08-21	4940781	18878906
2011-08-06	5867031	18161094		2011-08-22	4865469	18813906
2011-08-07	5783438	18245000		2011-08-23	4808750	18836875
2011-08-08	5633906	18249219		2011-08-24	4764375	18680000
2011-08-09	5596094	18277813		2011-08-25	4723281	18630000
2011-08-10	5487031	18297813		2011-08-26	4712656	18708750
2011-08-11	5555313	18396563		2011-08-27	4766563	18903438
2011-08-12	5360781	18509063		2011-08-28	4620313	18943750
2011-08-13	5362188	18629375		2011-08-29	4620469	19031719
2011-08-14	5271875	18606563		2011-08-30	4481719	19114219
2011-08-15	5262656	18621406		2011-08-31	4512188	19250313
2011-08-16	5242656	18640313				



Şekil 5.23: 2011 eylül ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı grafığı.

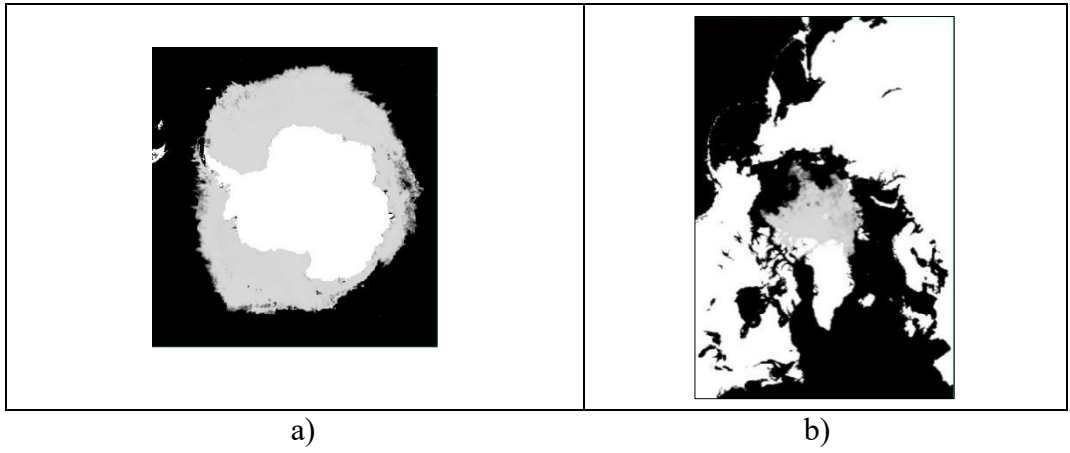
Şekil 5.23 ve Tablo 5.24’de görüldüğü üzere, 09.09.2011 tarihinde Arktik bölgesi deniz buzu konsantrasyon alanları 4.165.625 km² ile 2011 yılının en düşük (min) değerine ulaştığı belirlenmektedir. Buna karşın 19.09.2011 tarihi Antarktik deniz buzu alanları 19.685.313 km² ile 2011 yılının en yüksek (maks) değerine ulaştığı belirlenmektedir.

Tablo 5.24: 2011 eylül ayı deniz buzu konsantrasyonu alanı verileri.

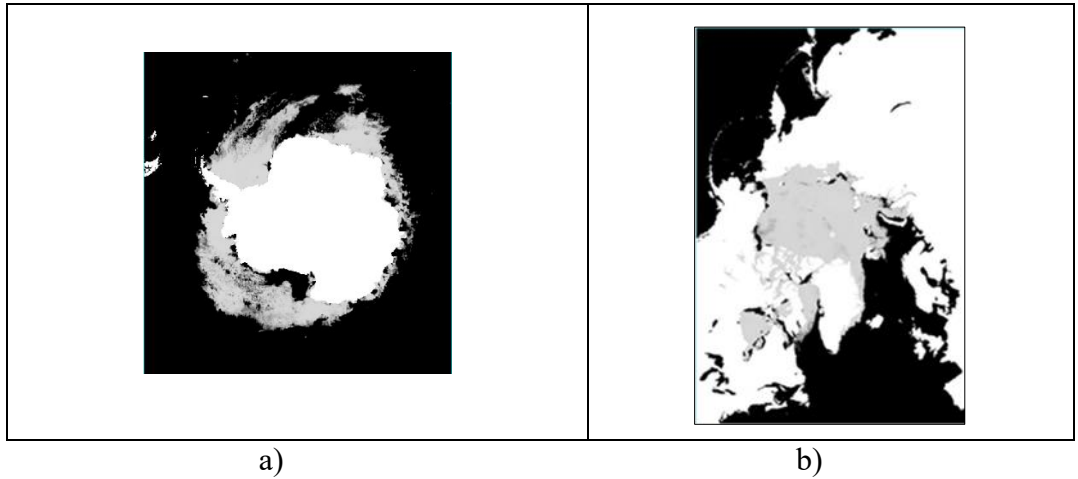
Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)		Tarih	Arktik (km ²)	Antarktik (km ²)
2011-09-01	4469844	19305313		2011-09-16	4378906	19654531
2011-09-02	4502031	19369063		2011-09-17	4346875	19675156
2011-09-03	4525625	19440938		2011-09-18	4352813	19662656
2011-09-04	4330000	19368125		2011-09-19	4367813	19685313
2011-09-05	4326875	19385469		2011-09-20	4332969	19665469
2011-09-06	4207344	19381563		2011-09-21	4351875	19669219
2011-09-07	4287031	19373438		2011-09-22	4350938	19682500
2011-09-08	4260625	19339375		2011-09-23	4437969	19662188
2011-09-09	4165625	19331406		2011-09-24	4447813	19622969
2011-09-10	4251094	19358281		2011-09-25	4522188	19613125
2011-09-11	4158438	19377031		2011-09-26	4578594	19594531
2011-09-12	4242031	19510938		2011-09-27	4592969	19571563
2011-09-13	4229063	19565625		2011-09-28	4710469	19541563
2011-09-14	4356094	19570938		2011-09-29	4654063	19550000
2011-09-15	4280938	19588594		2011-09-30	4831406	19581719

5.3. Antarktik ve Arktik Bölgelerine Ait Deniz Buzu AMSR-E Görüntüleri

Arktik ve Antarktik bölgeleri deniz buzı konsantrasyon alanlarının maksimum, minimum ve birbirlerine eşit oldukları tarihlere ait AMSR-E görüntüleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Siyah alanlar açık denizi, beyaz alanlar kara buzlarını ve açık gri alanlar deniz buzunu alanlarını ifade etmektedir. Şekil 5.24’de Antarktik ve Arktik konsantrasyonun maksimum ve minimum olduğu günlere ait AMSR-E görüntüleri gösterilmektedir.



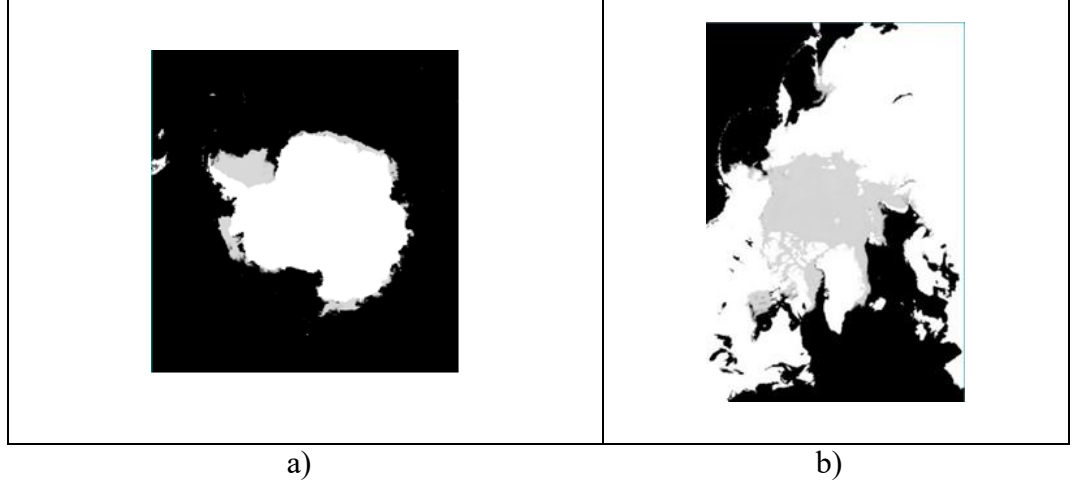
Şekil 5.24: 24.08.2010 tarihli Antarktik maksimum ve b)19.09.2010 tarihli Arktik minimum konsantrasyonlu AMSR-E görüntüleri.



Şekil 5.25: a) Arktik ve b) Antarktik deniz buzı alanlarının birbirlerine eşit olduğu 20.12.2010 tarihli görüntüleri.

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25’de görüldüğü üzere, iki bölgenin deniz buzı alanlarının eşit olduğu dönemde Antarktik bölgesi büyük miktarda deniz buzı

kaybetmiştir. Buna karşın Arktik bölgesi deniz buzu alanı kazanımı Şekil 5.26’de görüleceği üzere, maksimuma yakındır.

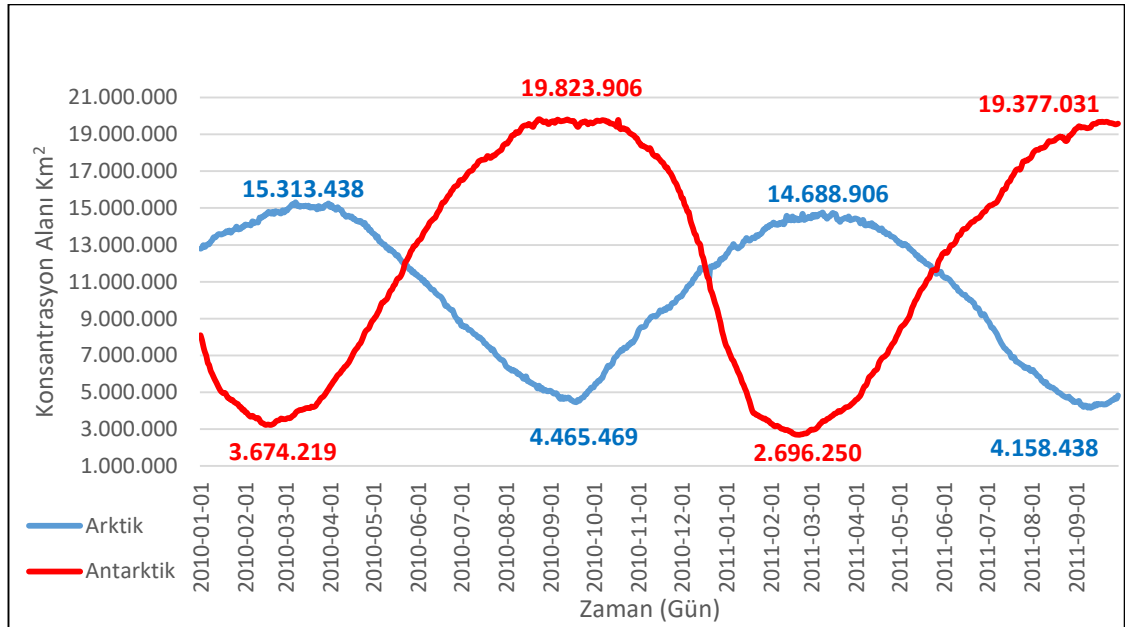


Şekil 5.26: a) 21.02.2011 tarihli Antarktik minimum ve b) 09.03.2011 tarihli Arktik maksimum konsantrasyonlu AMSR-E görüntüleri.

Şekil 5.26’da gösterildiği üzere, Antarktik bölgesindeki deniz buzunun yaz aylarında, kış aylarına göre büyük ölçüde az olduğu göze çarpmaktadır.

6. TARTIŞMALAR

Şekil 6.1 Arktik bölgesinde donma ve erime süreleri neredeyse eşitken, Antarktik bölgesinde erime hızı donmaya nazaran daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir. Genel olarak uydunun donma konusunda daha doğru sonuçlar vermesinin sebebi, erime sırasında göllenmeler ve sulu buzun artışı nedeniyle uydunun erimeyi daha fazla göstermesi olabilir. Ancak aynı uydunun Arktik bölgesinde bu hatayı yapmamasının sebebinin araştırma konusu olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.1: 01.01.2010 ve 30.09.2011 tarihleri aralığındaki deniz buzu konsantrasyon alanı.

Şekil 6.1’de görüldüğü üzere, Antarktik bölgesi deniz buzu konsantrasyonu alanı değişimi Arktik bölgesne göre daha fazladır. Bir kıtada daha çok donma ve erime olmasının nedenin ve Güney kutbunun kutup noktasının ekvatora yakınlığının Kuzey kutbundan daha fazla olmasıyla ilişkisi olup olmadığı araştırma konusu olduğu düşünülmektedir.

Mikrodalga verilerinin güncel 2010’dan günümüze kadar görüntü toplayan AMSR2 istatistiksel verileri bu tezde yapıldığı gibi uzun vadedeki değişimin hesaplanması belirlenebilir. Buna ek olarak Meteorolojik veriler ile karşılaştırılması gibi konularda bir çalışma yapılması önerilmektedir.

VIR görüntüleri buluta duyarlı olduğu hem meteorolojik veri hem de deniz buz konsantrasyonu hakkında veri sağlayabilir. Mikrodalda konsantrasyonu ve yersel verilerle eşleştirerek doğruluk kontrol edilebilir. Bu çalışmayla buzun yaşı ve tipi hakkında veri toplanabilir.

Kara buzullarının değişimi, meteorojik ve oşinografik olayların deniz buzlarına etkisi üzerine çalışmalar yapılabilir. Bu çalışmaların devamında küresel iklim değişim modeli algoritmaları geliştirilebilir.

7. SONUÇLAR

Bu bölümde 01 Ocak 2010 ve 30 Ekim 2011 tarihleri aralığındaki Arktik ve Antarktik deniz buzu deniz konsantrasyon alanları karşılaştırılmaktadır. 2010 ve 2011 tarihleri arasında Arktik ve Antarktik bölgeleri ikişer kez en yüksek (maks) ve en düşük (min) deniz buzu konsantrasyon alanlarına ulaşmaktadır. Arktik için sonuçlar aşağıda gösterilmektedir.

i) Arktik(maks.1)	08.03.2010 tarihinde	15.313.438 km ²
ii) Arktik (min.1)	19.09.2010 tarihinde	4.465.469 km ²
iii) Arktik (maks.2)	09.03.2011 tarihinde	14.688.906 km ²
iv) Arktik (min.2)	11.09.2011 tarihinde	4.158.438 km ²

Arktik(maks.2), Arktik(maks.1) deniz buzu konsantrasyon alanına göre 624.532 km² daha az deniz buzu alanına sahiptir. Bu sonuç 2011 yılı kışı, 2010 yılı kışına göre 624.532 km² daha az deniz buzu konsantrasyon alanına sahip olduğu anlamına gelmektedir.

Arktik(min.2), Arktik(min.1) en düşük deniz buzu konsantrasyon alanlarına göre 307.031 km² daha az olduğu hesaplanmaktadır. Bu sonuç 2011 yılı yazı, 2010 yılı yazına göre 307.031 km² daha az deniz buzu konsantrasyon alanına sahip olduğunu ve Arktik bölgesindeki iki kış ya da daha çok kış görmüş deniz buzlarının 307.031 km²'sinin eridiğini göstermektedir. Antarktik için sonuçlar aşağıda gösterilmektedir.

i) Antarktik (min.1)	05.02.2010 tarihinde	3.674.219 km ²
ii) Antarktik (maks.1)	24.08.2010 tarihinde	19.823.906 km ²
iii) Antarktik (min.2)	21.02.2011 tarihinde	2.696.250 km ²
iv) Antarktik (maks.2)	19.09.2011 tarihinde	19.377.031 km ²

Antarktik (maks.2), Antarktik (maks.1) en yüksek deniz buzu konsantrasyon alanına göre 446.875 km² daha az olduğu belirlenmektedir. Bu sonuç 2011 yılı kışının en yüksek deniz buzu olduğu önemde, 2010 yılı kışına göre daha az deniz buzu konsantrasyon alanına sahip olduğu belirlenmektedir.

Antarktik (min.2), Antarktik (min.1) deniz buzu konsantrasyon alanına göre 977.969 km² daha az olduğu belirlenmektedir. Bu sonuca göre, 2010 yılı yazında erimeyen 977.969 km² deniz buzu 2011 yazında belirlenmektedir.

01 Ocak 2010 ve 30 Ekim 2011 tarihleri aralığındaki Arktik ve Antarktik deniz buzu deniz konsantrasyon alanları Şekil 6.1 görüleceği üzere, maksimum ve minimum deniz buzu alanları grafik üzerinde gösterilmektedir. Buna ek olarak, Arktik bölgesinde donma ve erime süreleri neredeyse eşitken, Antarktik bölgesinde erime hızı donmaya nazaran daha hızlı gerçekleştiği görülmektedir.

Arktik(Erime) mevcut yılın içindeki kış ayından yaz ayına kadar yok olan deniz buzu konsantrasyon alanını ifade etmektedir. 2010 Ocak – 2011 Ekim aralığında Arktik ve Antarktik bölgelerinde toplam olarak 1.285.000 km² alanında eski buz eridiği hesaplanmaktadır. Erime sonuçları, aşağıda gösterilmektedir.

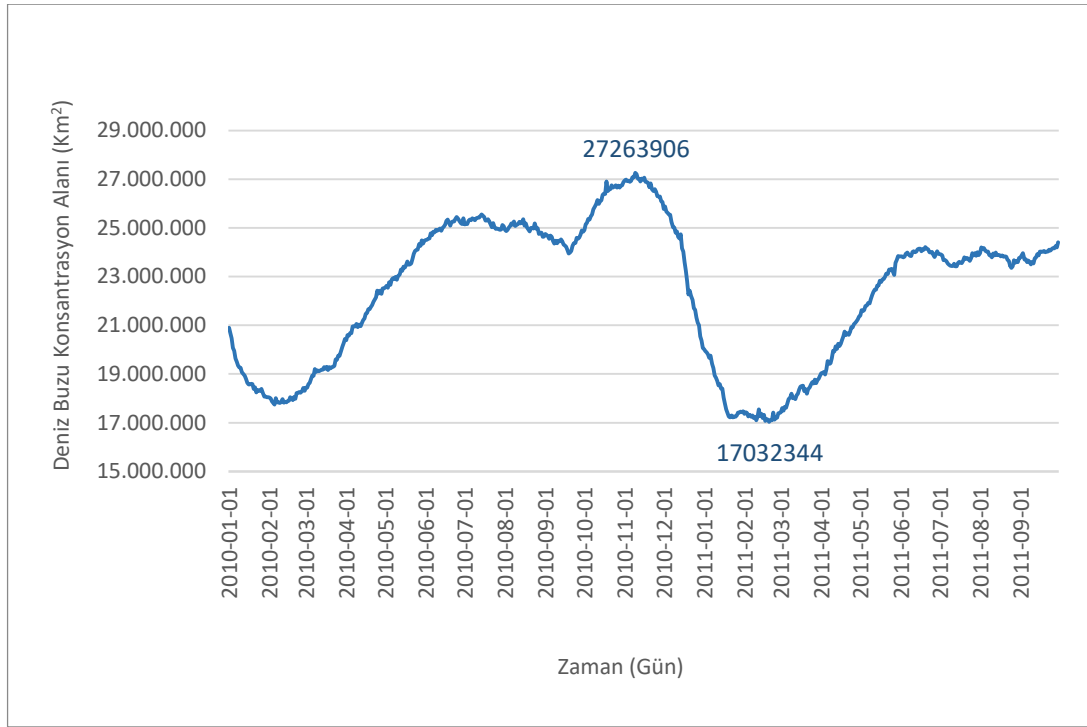
- i) Arktik (Erime 2010) = 10.847.969 km²
- ii) Arktik (Erime 2011) = 10.530.468 km²
- iii) Antarktik (Erime 2010) = 17.127.656 km² olarak hesaplanmıştır.

2011 yılı erime verisi, 2012 yılı günlük verileri işlendikten sonra hesaplanabilir. Antarktik (Donma) mevcut yılın içindeki yaz ayından kış ayına gerçekleşen yeni oluşan deniz buzu konsantrasyon alanını ifade etmektedir. Donma sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

- i) Antarktik (Donma 2010) = 16.149.687 km²
- ii) Antarktik (Donma 2011) = 16.680.781 km² olarak hesaplanmıştır.

Antarktika (Donma 2011), Antarktika (Donma 2010)'dan 317.501 km² daha fazla gerçekleşmiştir. 2011 yılı donma miktarı fazla olmasına rağmen, 2010 yılı maksimum deniz buzu konsantrasyon alanına ulaşamamıştır.

Giriş bölümünde, iki yarımkürenin toplam deniz buzu konsantrasyon alanı yaklaşık olarak 25.000.000 km² olarak belirtilmiştir. Şekil 7.1'de gösterildiği üzere, Arktik ve Antarktik bölgesi günlük toplam deniz buzu konsantrasyon alanları oldukça değişkendir ve ortalaması 25 milyon km²'nin altında seyir etmektedir.



Şekil 7.1: 01.01.2010 ve 30.09.2011 tarihleri arasındaki küresel deniz buzu konsantrasyon alanı.

2010 ve 2011 yılı tez sonuçları 2011 yılında toplam deniz buzu alanlarının 2010 yılına göre azaldığını göstermektedir. 2012 ve 2017 yılları arasında deniz buz genişlikleri arktik bölgesinde düzenli olarak azalmaktadır. [Web 11, 2017] Buna karşın Antarktik deniz buzlarının bazı yıllarda arttığıda tespit edilmektedir. Bunun sebebinin okyanus akıntıları ve Antarktika kıtasındaki erimekte olan kara buzlarındaki artışın neden olabilceği tahmin edilmektedir. Küresel ısınmanın deniz buzları üzerindeki etkisi kadar deniz buzlarının küresel ısınmaya etkisi olduğu düşünülmektedir. [Web12, 2017].

Uzun vadede yapılacak olan uydu gözlemleri, kara buzlarının erimesi, güçlü rüzgarların etken olduğu oşinografik akıntılar, tuzluluk, sıcaklık değişimleri gibi birçok verinin değerlendirilmesiyle deniz buzlarının eğilimleri ve birbirlerine etkisi belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- Cavalieri D., Gloersen P., Campbell W. (1984), "Determination of sea ice parameters with the Nimbus-7 SMMR", *Journal of Geophysical Research*, 89(D4), 5355–5369.
- Cavalieri D., Parkinson C., Gloersen P., Comiso J. , Zwally H. (1999), "Deriving long-term time series of sea ice cover from satellite passivemicrowave", *Journal of Geophysical Research*, 104(C7), 15803–15814.
- Comiso J. (1990), "Arctic multiyear ice classification and summer ice cover using passive", *Journal of Geophysical Research*, 34, 420-428.
- Comiso J., Cavalieri D., Parkinson C., Gloersen P. (1997), "Passive microwave algorithms for sea ice concentration: a comparison of two techniques", *Remote Sensing of Environment*, 60(3), 357-384.
- El Naggar S., Garrity C., Ramseier R. (1998), "The modelling of sea ice melt-water ponds for the high arctic using an airborne line scan camera. and applied to the satellite special sensor microwave/Imager (SSM/I)", *International Jurnal of Remote Sensing*, 19(12), 2373-2394.
- Garrity C. (1992), "Characterization of snow on floating ice and case studies of brightness temperature changes during the onset of melt" *Microwave Remote Sensing of Sea Ice*. Washington DC American Geophysical Union, 68, 313-328
- Gloersen P., Cavalieri, D. (1986), "Reduction of weather effects in the calculation of sea ice concentrations from microwave radiances", *Journal of Geophysical Research*, 91(C3), 3913–3919.
- Grenfell T., Cavalieri D., Comiso J., Drinkwater M., Onstott R., Rubinstein I., Winebrenner D. (1992), "Considerations for microwave remote sensing of thin sea ice", *Microwave Remote Sensing of Sea Ice Washington DC: American Geophysical Union*, 68, 291-301
- Hufford G.L. (1981), "Sea ice detection using enhanced infrared satellite data", *Mariners Weather Log*, 25(1), 1-6.
- Kern S. (2010), "Microwave Remote Sensing of Sea Ice. Lecture", San Antonio, Texas, USA.
- Ozsoy B. (2014), "Oden cruise. Antarctic expedition–Remote sensing applications.", *Antarctic Science Program Workshop*, İTÜ, Tubitak, İstanbul, Türkiye.
- Ozsoy Cıcek B., Ackley S. F., Worby A., Xie H., Lieser J. (2011), " Antarctic sea-ice extent and concentration: comparison of satellite and ship measurements from International Polar Year Cruises", *Annals of Glaciology*, 52(57), 318-326.

Ozsoy Cıcek B., Xie. H., Ackley S. (2009), "Antarktik summer sea ice concentration and extent: ODEN 2006 ship observations satalite passive mikroweve and NIC sea ice charts", The Cryosphere, 3(1), 1-9.

Parkinson C., Cavalieri D. (2002), "21 year record of Arctic sea-ice extents and their regional. Seasonal and monthly variability trends", Annals of Glaciology, 34, 441-446.

Parkinson C., Gloersen P. (1993), "In: Gurney R.J., Foster J.L., Parkinson C.L. Atlas of satellite observations related to global change", Cambridge University Press. 371-383.

Rees W.G. (2006), "Remote sensing of snow and ice", Taylor and Francis group.

Riggs G., Hall D. and Ackerman S. (1999), "Sea ice extent and classification mapping with the moderate resolution imaging spectroradiometer airborne simulator", Remote Sensing of Environment, 68(2), 152-163.

Steffen K., Schweiger A. (1991), "NASA Team Algorithm for sea ice concentration retrieval from defense meteorological satellite program special sensor microwave imager", Journal of Geophysical Research, 96(C12), 21971-21987.

Steffen K., Bindshadler R., Casassa G., Comiso J., Eppler D., Fetterer F., Welch R (1993), "Snow and ice applications of AVHRR in polar regions", Report of a workshop held in Boulder, Colorado, 20 May. Annals of Glaciology, 17, 1-16.

Steffen K., Key j., Cavalieri D., Comiso J., Gloersen P., Germain K. S., Rubinstein I. R. (1992), "The estimation of geophysical parameters using passive microwave algorithms", in microwave remote sensing of sea ice, American Geophysical Union, Washington DC, USA.

Svendsen E., Kloster K., Farrelly B., Johannessen O., Johannessen J. (1983), "Norwegian remote-sensing experiment-evaluation of the Nimbus-7 scanning multichannel microwave radiometer for sea ice research", Journal of Geophysical Research-Oceans and Atmospheres, 88(NC5), 2781-2791.

Ulaby F., Moore K., Fung A. K. (1986). "Microwave remote sensing: active and passive", Volum III, From theory to applications.

Web 1 (2017), <http://www.beyince.net/yazi/dunyanin-genel-atmosfer-dolasim-sistemi/> Erişim tarihi: 13.06.2017

Web 2 (2017), https://nsidc.org/cryosphere/seaice/environment/global_climate.html, Erişim Tarihi: 13.06.2017

Web 3 (2017), http://www.engineeringtoolbox.com/ice-thermal-properties-d_576.html, Erişim arihi: 13.06.2017

Web 4 (2010), <http://psc.apl.washington.edu/switchyard/field2006/fieldnotes06.html>, (Erişim arihi: 13.06.2017)

Web 5 (2016), <http://www.climatecentral.org/news/arctic-sea-ice-getting-thinner-faster-18726> , (Erişim tarihi: 13.06.2017)

Web 6 (2015), <http://www.nrcan.gc.ca/node/9371>, (Erişim Tarihi: 13.06.2017)

Web 7 (2017), [https://googlegroups.com/group/jdf321/attach/3e35aede0a658fad/mikrodalga\(burcu-kabatas.mete-sekerkiran.murat-ilhan.doc?part=0.1&view=1](https://googlegroups.com/group/jdf321/attach/3e35aede0a658fad/mikrodalga(burcu-kabatas.mete-sekerkiran.murat-ilhan.doc?part=0.1&view=1), (Erişim Tarihi: 13.06.2017)

Web 8 (2003), https://nsidc.org/cryosphere/seaice/study/active_remote_sensing.html, (Erişim Tarihi: 13.06.2017)

Web 9 (2017), http://nsidc.org/data/AE_SI12, (Erişim tarihi: 13.06.2017)

Web 10 (2017), https://nsidc.org/data/docs/daac/amsre_instrument.gd.html , (Erişim tarihi: 13.06.2017)

Web 11 (2017), <https://nsidc.org/arcticseaicenews/>, (Erişim tarihi: 13.06.2017)

Web 12 (2017), <https://www.nasa.gov/content/goddard/antarctic-sea-ice-reaches-new-record-maximum.>, (Erişim tarihi: 13.06.2017)

Williams R., Pendlebury S., Micheal K., Pendlebury S., Crowther P. (2002), “An automated image analysis system for detecting sea-ice concentration and cloud cover from AVHRR images of the Antarctic”, International Journal of Remote Sensing, 23(4), 611-625.

Zibordi G., Meloni G. (1991), “Classification of antarctic surfaces using AVHRR data-multispectral data”, Antarctic Science, 3(3), 333-338.

Zibordi G., Van Woert M. (1993) “Antarctic sea ice mapping using the AVHRR”, Remote Sensing of Environment, 45, 155-163.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Adana’da doğdu. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünden 2009 yılında mezun oldu. 2014 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi olarak eğitim hayatını sürdürmektedir. Profesyonel meslek hayatına 2000 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt Dairesi Başkanlığında Tekniker olarak başladı. 2010 yılından 2017 yılları arasında Deniz Araştırmaları Dairesi Başkanlığında Mühendis ve yönetim kademelerinde, MTA Marmara Bölge Müdürlüğünde Mühendis olarak çalıştı. 2017 yılında başlamış olduğu Kadıköy Belediyesi, Plan ve Proje Müdürlüğünde Harita Mühendisi olarak halen görev yapmaktadır.

EKLER

EK-A: Çalışmalar Kapsamında Yapılan Yayınlar

Dernek, N., Kavzoğlu, T., Özsoy, B., (2017), Uzaktan algılama teknikleriyle arktik bölgesi ve antarktika kıtası deniz buzı konsantrasyonun belirlenmesi. Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu, 17-18 Mayıs, Gebze, Kocaeli.

EK-B: Açıklamalar:

AMSR-E uydu verileri 638 adettir. Arktik ve Antarktik verileri toplamda 1276 adet olarak çalışılmıştır. Örnek olarak 01.01.2010 tarihli bir günlük çalışma dosyası dijital olarak CD'ye kaydedilmiştir