INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING IN METEOROLOGY

METEO IRS 2021

E-PROCEEDINGS

Editors

Ahmet Öztopal

Melek Akın

Abdurrahman Durmaz

1-3 December 2021

İTÜ, İstanbul, Türkiye

Virtual Symposium

EDITORS

Ahmet ÖZTOPAL

Melek AKIN

Abdurrahman DURMAZ

ISBN: 978-975-561-548-6

Date of Issue: 28 November 2022

İstanbul Technical University publications. No.2022.2KNF/6

PREFACE

In today's world, remote sensing is an important tool used in many fields. Atmospheric Sciences is the main field in which remote sensing is used 24/7 operationally. This technology makes important contributions to detect, understand and solve meteorological, climatological, hydrological problems and to detect and track ordinary or extreme weather events. In addition, remote sensing has undeniable contributions to forecasters and decision makers in terms of very short-term weather forecasting and early warning. Considering that our country's studies on Meteorological Remote Sensing are not sufficient in number and level, it is aimed to increase the studies on this subject throughout the country with the International Symposium on Remote Sensing in Meteorology - METEO IRS 2021. The interest shown in the first METEO IRS, with a total of 9 invited speakers from the United States, Finland, Italy and Turkey, is encouraging. I would like to express my gratitude to all the participants for their contributions, and I wish to be together again in METEO IRS 2023.

Dr. Ahmet Öztopal
Chair of METEO IRS 2021

ÖNSÖZ

Günümüz dünyasında uzaktan algılama birçok alanda kullanılan önemli bir araçtır. Uzaktan algılamanın operasyonel olarak 7 gün 24 saat kullanıldığı başlıca alan ise Atmosfer Bilimleri'dir. Bu teknoloji; meteorolojik, klimatolojik ve hidrolojik sorunların saptanmasında, anlaşılmasında ve çözülmesinde; olağan ya da aşırı hava olaylarının tespit ve takibinde önemli katkılar sunmaktadır. Ayrıca, uzaktan algılamanın çok kısa süreli hava tahmini ve erken uyarı anlamında da tahmincilere ve karar vericilere yadsınamaz katkıları bulunmaktadır. Ülkemiz çalışmalarının Meteorolojik Uzaktan Algılama konusunda yeterli sayıda ve düzeyde bulunmadığı düşünülerek, International Symposium on Remote Sensing in Meteorology - METEO IRS 2021 ile birlikte bu konudaki çalışmaların artırılması hedeflenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri, Finlandiya, İtalya ve Türkiye'den toplamda 9 çağrılı konuşmacının yer aldığı ilk METEO IRS'ye gösterilen ilgi, gelecek açısından ümit verici olmuştur. Katkılarından dolayı tüm katılımcılara şükranlarımı sunar, METEO IRS 2023'te yeniden birlikte olmayı dilerim.

Dr. Ahmet Öztopal
METEO IRS 2021 Başkanı

COMMITTEES

HONOR COMMITTE

Dr. İsmail KOYUNCU, Rector, Istanbul Technical University
Dr. Mahmut AYDIN, Rector, Samsun University
Volkan Mutlu COŞKUN, Director General, Turkish State Meteorological Service
Dr. Zahit MECİTOĞLU, Dean, ITU Faculty of Aeronautics and Astronautics
Dr. Ahmet Duran ŞAHİN, Head, ITU Dept. of Meteorological Engineering
Fırat ÇUKURÇAYIR, Head, TMMOB Chamber of Meteorology Engineers

ORGANIZING COMMITTE

Dr. Ahmet ÖZTOPAL, Chair, Istanbul Technical University
Dr. Bahtiyar EFE, Vice Chair, Samsun University
Dr. Bihter DURNA, Vice Chair, Samsun University
Sema ÇİL, Turkish State Meteorological Service
Emel ÜNAL, TMMOB Chamber of Meteorology Engineers
Melek AKIN, Istanbul Technical University
Fatma Ekin HÜNER, ITU METEO IRS Team
Abdurrahman DURMAZ, ITU METEO IRS Team
Esra KAÇAR, ITU METEO IRS Team
Sema GÜNEŞLİK, İTÜ METEO IRS Team
Yağmur UZUN, ITU METEO IRS Team
Halil KARAKAYA, ITU METEO CODING Team

SCIENTIFIC COMMITTE

Dr. Abdullah KAHRAMAN, University of Newcastle, GBR
Dr. Ahmet ÖZTOPAL, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Ahmet Duran ŞAHİN, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Ahmet Emre TEKELİ, Iğdır University, TUR
Dr. Ali DENİZ, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Ali Nadir ARSLAN, Finnish Meteorological Institute, FIN
Dr. Anthony LUPO, University of Missouri, USA
Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN, Eskişehir Technical University, TUR
Dr. Bahtiyar EFE, Samsun University, TUR
Dr. Bihter DURNA, Samsun University, TUR
Dr. Ceyhan KAHYA, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Daniele CASELLA, National Research Council of Italy, ITA
Dr. Deniz DEMIRHAN, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Emrah Tuncay ÖZDEMİR, Turkish State Meteorological Service, TUR
Dr. Elçin TAN, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Emine Ceren K. EYİGÜLER, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Filiz TÜRK KATIRCIOĞLU, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Hakan AKSU, Samsun University, TUR
Dr. Hakan KOÇAK, Turkish State Meteorological Service, TUR
Dr. Haldun KARAN, TUBITAK MAM, TUR
Dr. Hüseyin TOROS, Istanbul Technical University, TUR
Dr. İsmail YÜCEL, Middle East Technical University, TUR
Dr. Kaan KALKAN, TUBITAK-UZAY, TUR
Dr. Kasım KOÇAK, Istanbul Technical University, TUR
Dr. Kurtuluş ÖZTÜRK, Turkish State Meteorological Service, TUR

METEO IRS 2021 PROGRAM

1 DECEMBER 2021, WEDNESDAY	
OPENING SESSION (in Turkish)	
10:00 - 10:45	*AHMET ÖZTOPAL, Chair of METEO IRS 2021*
	AHMET DURAN ŞAHİN, Chair, ITU Department of Meteorological Engineering
	EMEL ÜNAL, General Secretary, TMMOB Chamber of Meteorology Engineers
	MERAL DEMİRTAŞ, Chair, SAMU Department of Meteorological Engineering
	ZAHİT MECİTOĞLU, Dean, ITU Faculty of Aeronautics and Astronautics
	VOLKAN MUTLU COŞKUN, General Manager, Turkish State Meteorological Service
SESSION 1 ***CHAIR:** EMRAH TUNCAY ÖZDEMİR*	
11:00 - 11:40	*OPERATIONAL WEATHER RADAR IN THE UNITED STATES AND CANADA: PAST, PRESENT AND FUTURE*
	SAMUEL MILLER, Invited Speaker *Plymouth State University, NH, USA*
11:40 - 12:00	*MUĞLA RADARI YAĞIŞ TAHMİN HATALARININ L2 VE L∞ NORMLARIYLA ANALİZİ*
	ARZU ÖZKAYA, A. EGEMEN YILMAZ
12:00 - 12:20	*RADAR VERİLERİ ÜZERİNDEN MEVSİMLİK İSTANBUL YAĞIŞ DESENLERİNİN ELDE EDİLMESİ*
	EMİR YAPICI, AHMET ÖZTOPAL
12:20 - 12:40	*ÖRNEK BİR VERİ SETİ ÜZERİNDE KÜRESEL YAĞIŞ ÖLÇÜMÜ (GPM) GÖREVİ VE METEOROLOJİ İSTASYONLARI VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ*
	MUSTAFA HÜSREVOĞLU, İSMAİL BÜLENT GÜNDOĞDU
12:40 - 13:00	*METRAD SİSTEMİ YAĞIŞ ALGORİTMALARI VE GELECEĞİN RADARI METRAD-3*
	EMRE ÇİFTÇİBAŞI, YÜCEL ÖZDEMİR, ERGENEKON HASSOY
13:00 - 14:00	LUNCH

SESSION 2 ***CHAIR:** ZEREFŞAN KAYMAZ*	
14:00 - 14:40	*USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR PRECIPITATION REMOTE SENSING FROM SATELLITE*
	DANIELE CASELLA, Invited Speaker *National Research Council of Italy, Roma, ITALY*
14:40 - 15:00	*A CASE STUDY ANALYSIS OF WILDFIRES BY REMOTE SENSING AND COPERNICUS EFFIS APPLICATIONS: THE SUMMER 2021 MANAVGAT, ANTALYA FOREST FIRES*
	SEMA ÇİL, OZAN PİRBUDAK
15:00 - 15:20	*UZAKTAN ALGILAMA VE METEOROLOJİK VERİLERDEN ELDE EDİLEN KURAKLIK İNDİSLERİNİN ZAMAN-FREKANS ANALİZİ*
	SEMRA KOCAASLAN, NEBİYE MUSAOĞLU
15:20 - 15:40	COFFEE BREAK

	SESSION 3 ***CHAIR:*** *BAHTİYAR EFE*
15:40 - 16:20	*USING A SMALL X-BAND RADAR TO FILL A GAP IN A NATIONAL WEATHER RADAR NETWORK*
	NEIL I. FOX, Invited Speaker *University of Missouri, USA*
16:20 - 17:00	LANDSAT-5 TM VERİLERİ İLE SU KALİTESİ ARAŞTIRMASI: MINNESOTA (ABD) ÖRNEĞİ
	SEMİH EKERCİN, Invited Speaker *Necmettin Erbakan University, TURKEY*

	2 DECEMBER 2021, THURSDAY
	SESSION 4 ***CHAIR:*** *HAKAN AKSU*
10:00 - 10:40	*REMOTE SENSING ACTIVITIES FOCUSING ON CRYOSPHERE APPLICATIONS AT THE FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE*
	ALİ NADİR ARSLAN, Invited Speaker *Finnish Meteorological Institute, FINLAND*
10:40 - 11:00	*CROP WATER STRESS INDEX ESTIMATION BY REMOTE SENSING IN THE MEDITERRENEAN REGION OF TURKEY*
	MAHMUT ÇETİN, HAKAN AKSU, OMAR ALSENJAR, MUHAMMET SAID GOLPINAR, MEHMET ALİ AKGÜL
11:00 - 11:20	TÜRKİYE UYDU KAYNAKLI BULUT ATLASI PROJESİ
	AHMET ÖZTOPAL, HAKAN KOÇAK, ERDEM ERDİ, REMZİ AKYÜZ, MELEK AKIN, MURAT ARSLAN
11:20 - 11:40	COFFEE BREAK
	SESSION 5 ***CHAIR:*** *SEVİNÇ ASİLHAN*
11:40 - 12:20	*HAIL FROM SPACE*
	SANTE LAVIOLA, Invited Speaker *National Research Council of Italy, Bologna, ITALY*
12:20 - 12:40	*USE OF A H-SAF PRODUCTS SELECTION FOR PRECIPITATION ANALYSIS: VALIDATION, INTER-COMPARISON AND CASE STUDIES*
	MARCO PETRACCA, ALESSANDRA MASCITELLI, JAN KANAK, ĽUBOSLAV OKON, MARTA DIOSZEGHY, PIERRE BAGUIS, ERAM ARTINYAN, BOZENALAPETA, AHMET ÖZTOPAL, PETER KRAHE, FEDERICO PORCÙ, SILVIA PUCA
12:40 - 13:00	*PASİF MİKRODALGA VERİSİ TABANLI BİR YAĞIŞ ALGORİTMASI GELİŞTİRİLMESİ*
	MELEK AKIN, AHMET ÖZTOPAL
13:00 - 14:00	LUNCH

	SESSION 6 ***CHAIR:*** *ELÇİN TAN*
14:00 - 14:40	*UYDUDAN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI'NA (İHA) KAR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDEKİ GELİŞMELER*
	ZUHAL AKYÜREK, Invited Speaker *Middle East Technical University, TURKEY*
14:40 - 15:00	*A COMPARATIVE STUDY ON THE PERFORMANCE OF THE GRACE-BASED WSDI AND GDSI INDICES FOR DROUGHT SURVEILLANCE OVER TURKEY*
	BEHNAM KHORRAMI, ORHAN GÜNDÜZ
15:00 - 15:20	A GEOSPATIAL APPROACHES: DROUGHT MONITORING USING GOOGLE EARTH ENGINE
	VENKADESH SAMYKANNU, SELLAPERUMAL PAZHANIVELAN
15:20 - 15:40	COFFEE BREAK
	SESSION 7 ***CHAIR:*** *BİHTER DURNA*
15:40 - 16:00	TÜRK ARKTİK BİLİMSEL SEFERLERİ KAPSAMINDA GSM VE UYDU VERİLERİNDEN ELDE EDİLEN ATMOSFERİK PARTİKÜL VERİLERİNİN ANALİZİ VE SİSTEM TASARIMI
	FURKAN ALİ KÜÇÜK, CEYHAN KAHYA
16:00 - 16:20	ORMAN YANGINLARINDAN KAYNAKLI HAVA KİRLİLİĞİNİN UYDU GÖZLEMLERİYLE BELİRLENMESİ
	EFEM BİLGİÇ, GİZEM TUNA TUYGUN, ORHAN GÜNDÜZ
16:20 - 16:40	*10-11 AĞUSTOS 2021 TARİHLERİNDE BARTIN, KASTAMONU VE SİNOP'TA MEYDANA GELEN SEL HADİSELERİNİN METEOROLOJİK ANALİZİ*
	EMRAH TUNCAY ÖZDEMİR, BAHTİYAR EFE, ALİ DENİZ
16:40 - 17:00	DIGITIZING THE BURNED-OUT AREAS IN THE 2021 ANTALYA WILDFIRE WITH REMOTE SENSING METHODS
	CEMA DİLGE OHRİLİ, AYŞE BURCU ATALAR, EMİRHAN CEMEK, ELİZ ÖZÖN, RANA BETÜL DAĞ, MELEK CANDAN İPEK, ELÇİN TAN, SEVİNÇ ASİLHAN
	3 DECEMBER 2021, FRIDAY
	SESSION 8 ***CHAIR:*** *KURTULUŞ ÖZTÜRK*
10:00 - 10:40	*YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ UYDU TABANLI DENİZ SEVİYE SICAKLIKLARININ EKSTREM YAĞIŞ VE AKIŞ TAHMİNLERİNE ETKİSİ*
	İSMAİL YÜCEL, Invited Speaker *Middle East Technical University, TURKEY*
10:40 - 11:00	*ANTALYA KÖRFEZİ'NDE EKSTREM DENİZ SUYU SICAKLIKLARININ UZUN DÖNEMLİ DEĞİŞİMİNİN MEVSİMSEL İNCELENMESİ*
	FEVZİYE AYÇA SARAÇOĞLU, BERNA AYAT, BURAK AYDOĞAN, KEBİR EMRE SARAÇOĞLU
11:00 - 11:20	*SEBAL YÖNTEMİ İLE UYDU TABANLI EVAPOTRANSPİRASYON HESAPLANMASI*
	KERİM ATİLLA KORKMAZ
11:20 - 11:40	COFFEE BREAK

SESSION 9 ***CHAIR:*** *CEYHAN KAHYA*	
11:40 - 12:20	*UYDU ÜRÜNLERİNİN SU KAYNAKLARI PLANLAMASI VE YÖNETİMİNDE KULLANIMI*
	AYNUR ŞENSOY ŞORMAN, Invited Speaker *Eskişehir Technical University, TURKEY*
12:20 - 12:40	*STATISTICAL ASSESSMENT AND HYDROLOGICAL UTILITY OF MULTIPLE GRIDDED PRECIPITATION DATASETS IN ARAS BASIN*
	HAMED HAFIZI, ALİ ARDA ŞORMAN
12:40 - 13:00	*ORMAN YANGINLARININ MSG UYDUSUNDAN TESPİTİ*
	FİGEN ÖZCAN, AHMET ÖZTOPAL
13:00 - 13:20	*YENİLİKÇİ TREND ANALİZİ YÖNTEMİYLE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ*
	NİHAT MERT YALÇINKAYA, AHMET ÖZTOPAL
13:00 - 14:00	LUNCH
CLOSING SESSION	
14:00 - 14:45	*CLOSING TALKS*

CONTENTS

INVITED SPEAKERS

Dr. Ali Nadir ARSLAN, Finnish Meteorological Institute, FIN

Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN, Eskisehir Technical University, TUR

Dr. Daniele CASELLA, National Research Council of Italy, ITA

Dr. İsmail YÜCEL, Middle East Technical University, TUR

Dr. Neil I. FOX, University of Missouri, USA

Dr. Samuel MILLER, Plymouth State University, USA

Dr. Sante LAVIOLA, National Research Council of Italy, ITA

Dr. Semih EKERCİN, Necmettin Erbakan University, TUR

Dr. Zuhal AKYÜREK, Middle East Technical University, TUR

Dr. Ali Nadir ARSLAN

Dr. Ali Nadir Arslan received the D.Sc. (Tech.) degree from the Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, in 2006. He worked in Nokia Corporation between 1999 and 2009 holding principal scientist title. He is currently a Senior Scientist at the Finnish Meteorological Institute (FMI) and has been employed since 2009. His research interests are remote sensing methods and applications focusing cryosphere, microwaves, electromagnetics theory and computational modeling. Dr. Arslan has directed several research projects including European Union and some university collaborations. Dr. Arslan is the Chairman of COPERNICUS Finnish User Forum, http://cufin.fmi.fi and contact person of FMI for Copernicus Relay in Finland.

More info: https://en.ilmatieteenlaitos.fi/cv-ali-nadir-arslan

Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN

Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN received Ph.D. from Middle East Technical University, Ankara, Turkey, in 2005. She is currently a full-time professor at Eskişehir Technical University, Department of Civil Engineering, Eskişehir, Turkey. Her main research areas are hydrological modeling studies in water resource management and planning. These studies focus on runoff forecasting and flood analysis, snow hydrology, the use and hydro-validation of satellite technologies, operational reservoir management, and climate change impact. She has directed and taken part in several national and international projects, and published papers in the research area.

More info: https://akademik.eskisehir.edu.tr/asensoy

Dr. Daniele CASELLA

Daniele Casella received the Laurea Degree in physics (2006) and the Ph.D. degree in remote sensing (2011), both from the University of Rome "La Sapienza", Italy. From 2007 to 2016 he joined the Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC), National Research Council of Italy (CNR), Roma, Italy as a research associate. From 2016 to 2018 he has been an ESA consultant with SERCO in ESRIN, Frascati, Italy. Since 2018 he is a permanent researcher with the ISAC-CNR. Dr. Casella has more than 10-year experience with Earth Observation techniques, including the development of retrieval algorithms of liquid and solid precipitation related quantities using microwave radiometers and radiative transfer simulations through cloudy atmosphere. He is one of the developers of the precipitation products for the Eumetsat H SAF.

More info: https://www.isac.cnr.it/en/users/daniele-casella

Dr. İsmail YÜCEL

Professor, Civil Engineering Department, Water Resources Lab., Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Education

Ph.D. Hydrology, Minor in Remote Sensing, Dept. of Hydrology & Water Resources, University of Arizona, 2001
M.Sc. Hydrology, Dept. of Hydrology & Water Resources, University of Arizona, 1996
B.Sc. Meteorological Engineering, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 1993

Areas of Research Interest

Regional atmosphere/climate modeling
Climate change assessment on water resources
Hydrometeorological system modeling (Coupled system of atmosphere, land-surface, and hydrological models)
Remote sensing and data assimilation

More info: https://avesis.metu.edu.tr/iyucel

Dr. Neil I. FOX

Neil Fox is Professor of Atmospheric Science at the University of Missouri. He got his B.Sc. in Physics from the University of Manchester in 1988. He received an M.Phil. in Meteorology from the University of Reading (1995) where he worked on dual-polarization radar, and a Ph.D. from the University of Salford (1998), where he worked on precipitation radar, nowcasting and flood forecasting. Since 2001 he has been at the University of Missouri where his research has centered on the use of radar in quantitative precipitation estimation and forecasting, convective storm dynamics, and rainfall kinetic energy.

More info: https://cafnr.missouri.edu/person/neil-i-fox/

Dr. Samuel MILLER

Sam Miller began his career in meteorology as a weather observer in the U.S. Air Force in 1982. From 1982 to 1989, he worked as a USAF meteorologist in Maine, California, New York State, and at the joint US-Turkish airbase outside Adana, Turkiye. He eventually earned the rank of Technical Sergeant, and left the USAF in 1989 after more than ten years on active duty.

After leaving the USAF, Miller attended the University of New Hampshire and earned a Bachelor of Science in Physics (1996), a Master of Science in Earth Sciences: Oceanography (1999), and a Ph.D. in Earth Sciences (2003), while also working as a weather observer in Portsmouth, New Hampshire, a research scientist at the university, and a teacher in New Hampshire's public university system. In 2018, he earned a Master of Business Administration from Plymouth State University, in New Hampshire.

From 2003 to 2005, Miller was a weather forecaster with the U.S. National Weather Service in Anchorage, Alaska. Since 2005, he has served as a professor of meteorology at Plymouth State University, where he teaches courses in physics, introductory atmospheric science and climatology, data analysis, atmospheric thermodynamics, instrumentation, remote sensing, weather forecasting, satellite meteorology, and radar meteorology.

In 2017, Miller became an American Meteorological Society (AMS) Certified Consulting Meteorologist, and now serves on the AMS's governing Board of Certified Consulting Meteorologists (BCCM). He will serve as Chair of the BCCM in 2023.

Miller is a member of Phi Beta Kappa, has published papers on the sea breeze and the physics of water vapor, and textbooks on applied atmospheric thermodynamics and radar meteorology, and has worked extensively as a meteorological consultant in legal matters.

More info: https://www.plymouth.edu/faculty-staff/faculty-staff/faculty-profiles/samuel-t-miller/

Dr. Sante LAVIOLA

Scientist at the Institute of Atmospheric Sciences and Climate of the National Research Council of Italy (CNR-ISAC).
Lecturer in Microwave Remote Sensing in the Course of Cloud Physics at the University of Bologna.

Education
2003 Graduated Environmental Engineering at the University of Basilicata. Thesis: "Characterization of Clouds from Satellite Data"
2003 Remote Sensing Summer School "Application with the newest Multi- Spectral Meteorological Satellites", 22-31 May, Maratea, Italy.
2005 Visiting Scientist at the MetOffice, Satellite Application Division, (UK).
2007 PhD in "Methods and Technologies for the Environmental Monitoring" at the University of Basilicata. Thesis: "Estrazione di parametri ottici e microfisici da immagini satellitari di sistemi nuvolosi"

Research Interests
Algorithm development for studying precipitation, hailstorms and cloud structure
Satellite remote sensing severe storms (main focus on the Mediterranean basin)
Climate studies of extreme weather
Atmospheric Rivers
Storm-producing Terrestrial Gamma Ray-flashes (TGF

More info: https://www.isac.cnr.it/index.php/en/users/sante-laviola

Dr. Semih EKERCİN

Semih Ekercin has been working on earth observation and remote sensing for more than twenty years. This journey started with a research project on Aegean Sea coastline monitoring during MSc study at Istanbul Technical University (ITU) in 1997 after graduating from geomatics engineering in 1995. After completing his PhD research on advanced spatial analysis about the environmental impact of climate change on natural and built environment around the Salt Lake in Turkey at ITU in 2007, he held many academic and administrative positions at different universities and countries for fifteen years. He is married and has a son, Selman.

More info: https://www.erbakan.edu.tr/en/personel/11713/semih-ekercin

Dr. Zuhal AKYÜREK

Dr. Zuhal AKYUREK is a full-time professor in Civil Engineering Department at Middle East Technical University. She got her PhD from Middle East Technical University and had her post-doc in Brsitol University. She worked for The Scientific and Technological Research Council of Turkey as a researcher for one year. She performs research on hydrology, rainfall-runoff models, optical and microwave remote sensing of snow, flood modelling. She is giving courses in Water Resources Engineering, Hydrology, Geographic Information Systems, Urban Hydrology and Hydraulics. She has been working within HSAF project since 2005. She is principle investigator for the snow parameters retrieval from satellite data for the mountainous areas in HSAF project. She is co-investigator on other hydrology-related projects. She has been visiting scientist at NASA in 2008. Prof. Akyurek is the member of National Hydrology Commission. She has several publications in peer reviewed journals and presentations in conferences, workshops and seminars.

More info: https://blog.metu.edu.tr/zakyurek/

Remote Sensing Activities Focusing on Cryosphere Applications at the Finnish Meteorological Institute

Ali Nadir ARSLAN
Invited Speaker

Finnish Meteorological Institute
ali.nadir.arslan@fmi.fi

ABSTRACT

The Finnish Meteorological Institute (FMI) is a research and service organization under the Ministry of Transport and Communications of Finland. It provides operational and research information related to weather and climate for the needs of the public and decision-makers. This includes the production of numerical weather predictions. FMI is the largest research institute in Finland related to space activities (Earth Observation and space research).

The FMI is organisation consists of six divisions. This talk will focus on remote sensing activities of the FMI Space and Earth Observation Centre (FMI-SPACE, see https://space.fmi.fi).

Units of FMI-SPACE perform research focusing on remote sensing of the Earth's surface and atmosphere. This includes world-leading work concerning the monitoring/analyses of atmospheric pollution and greenhouse gases as well as processes of cryosphere by satellite sensors. FMI-SPACE is actively involved in EU Copernicus research and services (e.g. long-term climate data records for climate research and near-real time services).

Keywords: Earth observation, space, weather and climate.

Use of Satellite Products in Water Resources Planning and Management

Aynur ŞENSOY ŞORMAN
Invited Speaker
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
asensoy@eskisehir.edu.tr

ABSTRACT

Developments in remote sensing technology bring the use of new and alternative products to the agenda day by day, and these technologies are increasingly used as a complementary information source for on-site monitoring networks. Satellites can make direct and indirect measurements of almost all components of the hydrological cycle. In recent years, it has been possible to obtain data on hydrological state variables such as precipitation, soil moisture, snow, water levels, evapotranspiration through satellite technology. These satellite products can be used in integrated hydrodynamic or hydrological models to simulate and evaluate river flows and enhance model performances, which greatly supports the improvement of water resource management. This contribution is very important especially in remote regions where measurements are not possible or can be carried out in very difficult conditions and at high costs.

Although some of the satellite remote sensing products are operationally under development and their use in the field of water resources has significant limitations and challenges, they can provide near-global information in near real-time with their large spatial coverage and high temporal resolution. In this study, the use of precipitation, snow and soil moisture data based on satellite technology in water resources planning and management through hydrological model applications will be evaluated with examples of studies carried out in our country.
Keywords: Water resources, satellite products, precipitation, snow, soil moisture.

Uydu Ürünlerinin Su Kaynakları Planlaması ve Yönetiminde Kullanımı

ÖZET

Uzaktan algılama teknolojisindeki gelişmeler her geçen gün yeni ve alternatif ürünlerin kullanımını gündeme getirmekte ve bu teknolojiler yerinde izleme ağlarını tamamlayıcı bir bilgi kaynağı olarak giderek daha fazla kullanılmaktadır. Uydular, hidrolojik döngünün neredeyse tüm bileşenlerinin doğrudan ve dolaylı ölçümlerini yapabilmektedir. Son yıllarda, yağış, toprak nemi, kar, su seviyeleri, evapotranspirasyon gibi hidrolojik durum değişkenleri hakkında uydu teknolojisi yoluyla veri elde etmek mümkün olmuştur. Bu uydu ürünlerinin, su kaynakları yönetiminin geliştirilmesini büyük ölçüde destekleyen nehir akımlarını simüle etmek ve değerlendirmek için entegre hidrodinamik veya hidrolojik modellerde kullanılması ve model performanslarını iyileştirmesi söz konusudur. Özellikle ölçümlerin mümkün olmadığı veya çok zor koşullarda ve yüksek maliyetlerle gerçekleştirilebildiği uzak bölgelerde bu katkı çok önemli olmaktadır.

Uydu uzaktan algılama ürünlerinden bazıları operasyonel olarak gelişme aşamasında olmasına ve su kaynakları alanında kullanımlarında önemli sınırlamalar ve zorluklar olmasına rağmen, geniş uzamsal kapsama alanları ve yüksek zamansal çözünürlükleri ile neredeyse gerçek zamanlı olarak küresele yakın bilgi sağlayabilmektedirler. Bu çalışmada uydu teknolojisine dayalı yağış, kar ve toprak nemi verilerinin, hidrolojik model uygulamalar yoluyla, su kaynakları planlaması ve yönetiminde kullanımı özellikle ülkemizde gerçekleştirilen uygulama örnekleriyle değerlendirilecektir.

***Anahtar Kelimeler*:** Su kaynakları, uydu ürünü, yağış, kar, toprak nemi.

GİRİŞ

Su kaynaklarının planlanması ve yönetimindeki en büyük zorluk yağışın alansal ve zamansal dağılımındaki farklılıktır. Dağılımdaki bu farklılık küresel iklim değişiminin de etkisiyle taşkın ve kuraklık türü olayların gözlenmesine sebep olabilmektedir. Geniş bir coğrafi alana ve çeşitli iklim kuşaklarına sahip olan ülkemizde taşkın ve kuraklık gibi uç olayları aynı anda yaşadığımız durumlar da olabilmektedir. Gerek suyun kontrolü gerekse de suyun kullanımı konularında çalışmalar yapmanın önemi her geçen gün artmaktadır.

Su kaynaklarının etkin ve güvenli yönetimi için havzanın membadan mansaba kadar ayrılmaz bir bütün olarak izlenmesi, modellenmesi, akım tahmini yapılması, amaca uygun yönetim stratejileri geliştirilmesi, yönetim planlarının ortaya konulması, takip ve güncelleme çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Bu hedefe varabilmek için disiplinlerarası ve çok disiplinli çalışmaların gerçekleştirilmesi, özellikle uygulayıcı ve araştırmacıların birlikte çalışması önemlidir.

Hidrolojik modelleme çalışmalarının, taşkın ve kuraklık yönetim planlarının önemli bir parçası olduğu bilinmektedir. Ayrıca, baraj işletmesi, tahsisler, su kalitesi, iklim değişimi etki çalışmalarında da önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Hidroloji alanındaki model uygulamalarında da diğer alanlarda olduğu gibi girdi değişkenleri ve başlangıç ve/veya sınır koşulları sağlanmaktadır. Uydu ürünleri bu modellerin girdilerini oluşturmak, modelin başlangıç ya da durum değişkenlerini belirlemek, modelin performansını ve/veya güvenilirliğini artırmak amacıyla kullanılabilmektedir. Uydu verileri yer gözlemleri ile birlikte kullanılabilmekte, ayrıca model durum değişkenlerini ya da model çıktılarını iyileştirmek üzere veri asimilasyonu çalışmalarında da kullanılabilmektedirler (Dong, 2018).

Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde kullanılan uydu tabanlı değişkenler arasında yağış, karla kaplı alan, kar su eşdeğeri, toprak nemi, albedo, buharlaşma, yüzey sıcaklığı, arazi kullanımı, bitki örtüsü, su seviyesi, taşkın alanı sayılabilir. Uygulamalarda özellikle uydu ürünü olarak yağış, toprak nemi ve kar ürünlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Ürünlerin su kaynaklarında kullanımından önce yer gözlemlerine dayalı olan doğrulamaları gerçekleştirilmektedir. Ürün doğruluk analizlerinden sonra hidrolojik uygulamalarda etki değerlendirmesi ya da hidrolojik doğrulama olarak kullanılması söz konusu olmaktadır. Özellikle gözlem ağının yetersiz ya da kısıtlı olduğu havzalarda uydu ürünlerinin kullanımı önemli bir katkı sağlamaktadır. Noktasal temsiliyetin yeterli olmadığı zorlu topoğrafik koşullarda iyi bir alansal ve zamansal çözünürlüğe sahip uydu ürünlerinin gözlenen değişkeni daha iyi temsil edebildiği görülmektedir. Yer ve uydu gözlemleri çoğu zaman birlikte kullanılmakta, model çalışmalarında doğrulama ve veri asimilasyonu yoluyla akım tahminleri gerçekleştirilmekte ve bu da haznelerin kontrolünü de içeren karar destek sistemlerinin geliştirilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde kullanılmakta olan uydu ürünlerine, bu konuda özellikle ülkemizde yapılmakta olan çalışma ve uygulama örneklerine yer verilmesi planlanılmıştır. Farklı çalışma bölgelerinden örnekler sunulmuş olmakla birlikte, uydu ürünleri ile model uygulamalarının bütünleştirilip akım tahmini için yürütülen çalışmaların çoğu birçok ulusal ve uluslararası projede pilot havza olarak kullanılan Yukarı Fırat (Karasu) Havzasında (38◦ 58’ D - 41◦39’ D ve 39◦23’ K - 40◦25’ K, 10 250 km^2) gerçekleştirilmiştir. Havzadaki çalışma örneklerine Web-1 adresinden de ulaşılabilmektedir.

UYDU YAĞIŞ ÜRÜNLERİ VE KULLANIM ÖRNEKLERİ

Su kaynakları alanlarındaki çalışmalarda kullanılan değişkenlerden en önemlisi yağıştır. Taşkın, kuraklık, barajların tasarımı, işletmesi, hidroelektrik enerji üretimi, sulama, iklim değişimi gibi farklı çalışmaların temel bileşeni hiç kuşkusuz yağıştır. Tüm bu uygulamalarda kullanılmak üzere, yağış akış ilişkisini tahmin etmek için çeşitli kavramsal, fiziksel veya veriye dayalı yaklaşımlar ve modeller geliştirilmiş ve uygulanmaktadır. Ölçülen bilgilere dayanan alansal ortalama yağış verileri, hidrolojik model performansları üzerinde en büyük etkilerden birine sahiptir (Kidd ve diğ., 2017). Gözlemlenen yağış, alan ve zamandaki yüksek değişkenliği nedeniyle önemli bir belirsizlik kaynağıdır (Sun ve diğ., 2018). Bu amaçla, yağışı ölçmek için genellikle istasyon gözlemleri, meteorolojik radar gözlemleri, uydu gözlemleri kullanılmaktadır (Liu ve diğ., 2017).

Uzaktan algılama prensibine dayalı radar gözlemleri kullanılarak yüksek çözünürlükte yağış verisi elde etmek mümkündür. Ancak, radarların sayıca sınırlı olması, yansıtma değerlerinin sayısallaştırılmasındaki zorluklar, topoğrafyanın sinyalleri engellemesi ve radarın taradığı alan ve zamansal kısıtları, radar verilerinin küresel veya geniş ölçekli alanlarda kullanımını sınırlamaktadır (Yılmaz ve diğ, 2017). Öte yandan, mikrodalga temelli yağış algoritmaları geliştirilen mekansal ve zamansal çözünürlükleri de dikkate alındığında gün geçtikçe daha çok uygulama alanı bulmaktadır.

Dağlık havzalarda kar erimesi akışını tahmin etmek, sınırlı yağış ölçümleri nedeniyle zorlu bir iştir. Türkiye'nin doğusundaki oldukça yüksek ve karmaşık arazilerde, ölçüm ağının oluşturulması ve sürekliliğinin sağlanılmasının da zorluğu gözetilerek, yüksek alansal ve zamansal çözünürlükte uydu yağış gözlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gerek önemli su yapılarının yer alması gerekse kar potansiyelinin yüksek olması nedeniyle buradaki gözlemler ve akım tahmin çalışmaları ayrı bir önem arz etmektedir.

Yakın zamanda bu bölgede yapılan çalışmalarda (Hafizi ve Şorman, 2022, Uysal ve Şorman, 2021) farklı uydu yağış ürünlerinin tutarlılıkları ve hidrolojik uygulamalardaki faydaları değerlendirilmiştir. Hafizi ve Şorman, (2022) on üç tane farklı ve dağılımlı yağış veri setini (GPDs) (CPCv1, MSWEPv2.8, ERA5, CHIRPSv2.0, CHIRPv2.0, IMERGHHFv06, IMERGHHEv06, IMERGHHLv06, TMPA-3B42v7, TMPA-3B42RTv7, PERSIANNCDR, PERSIANN-CCS, and PERSIANN) günlük olarak değerlendirmiş ve 2015-2019 yılları arasında dağlık Karasu Havzasında kullanmıştır. Bunlardan uydu ürünleri olanlarıyla ilgili kısa bilgi Tablo 1'de yer almaktadır.

Bu çalışmaya göre, Türkiye'nin dağlık doğu kesiminde yer alan Karasu nehir havzasında MSWEPv2.8 ve CHIRP(S)v2.0 ürünleri diğer seçilmiş uydu ürünlerine göre daha iyi performans göstermiştir. Düzeltme zaman penceresi ve kullanılan gösterge sayısı, nihai ürünün güvenilirliğini önemli ölçüde etkileyen önemli faktörlerdir. Bu nedenle, olası yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüklü yer bilgisi ile uydu tabanlı yağış ürünlerinde yanlılık düzeltmesi önerilmektedir. Genel olarak, seçilen ürünlerin çoğu, günlük yağışı tespit etmede zaman ve alan açısından düşük bir performans gösterse de bazıları akımları doğru bir şekilde simüle etmektedir. Ayrıca, model parametreleri her veri kümesi için ayrı ayrı kalibre edildiğinde uydu ürünlerinin akışı daha iyi simüle ettiği tespit edilmiştir. Yüksek alanlarda daha fazla istasyonla daha uzun süreler için doğruluk testleri yapılabilir ancak çalışmadaki bulgular, Türkiye gibi karmaşık topografyaya sahip bölgeler ve dünyanın diğer benzer bölgeleri için mevcut literatüre değerli bir katkı sağlamaktadır.

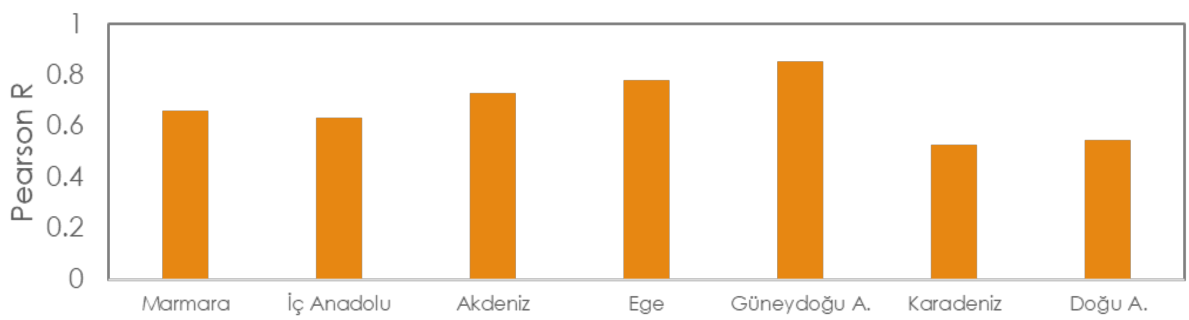
Tablo 1. Kullanılan uydu yağış veri setlerinin özellikleri (Hafizi ve Şorman, 2022)

Veri Kümesi Adı	**Alansal Çözünürlük**	**Zamansal Çözünürlük**	**Zamansal Kapsama**
MSWEPv2.8	0.10◦	3-saatlik	1979-
CHIRPSv2.0	0.05◦	Günlük	1981-
CHIRPv2.0	0.05◦	Günlük	1981-
IMERGHHFv06	0.10◦	30 dk	2014-
IMERGHHEv06	0.10◦	30 dk	2014-
IMERGHHLv06	0.10◦	30 dk	2014-
TMPA-3B42v7	0.25◦	3-saatlik	2000-
TMPA-3B42RTv7	0.25◦	3-saatlik	1998-
PERSIANN-CDR	0.25◦	Günlük	1983–2016
PERSIANN-CCS	0.04◦	Saatlik	2003-
PERSIANN	0.25◦	Saatlik	2000-

Uysal ve Şorman (2021) yine aynı pilot havzada yaptıkları çalışmada, PERSIANN ve PERSIANN-CDR'nin çeşitli zaman çözünürlüklerinde (mevsimsel ve aylık zaman ölçekleri) performanslarını incelemişlerdir. Çalışmada PERSIANN-CDR, PERSIANN'a kıyasla gözlemlenen yağışla daha ilişkili bulunmuştur. Ancak, dağlık yukarı Fırat Nehri Havzasında kullanılması için PERSIANN-CDR verilerine yanlılık düzeltmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Her iki ürün için de karın baskın olduğu bölge üzerinde uygun bir yanlılık düzeltmesinden sonra günlük akış simülasyonu için başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Öte yandan EUMETSAT tarafından desteklenen H SAF (Web-2) projesinde de yağış ürünleri üretilmektedir. Bu konuda da Türkiye ve Avrupa için çeşitli doğrulama çalışmaları yürütülmektedir (Puca ve diğ., 2014).

Farklı bir uydu yağış ürünü için ise aşağıdan yukarıya bir algoritma uygulaması ile elde edilen SM2RAIN ürünü verilebilir. Bu ürün toprak neminden Brocca ve diğ (2014) tarafından elde edilen bir yağış ürünüdür. SM2RAIN-ASCAT yağış ürünü, ASCAT uydusu toprak nemi verilerinin SM2RAIN algoritması ile ters çevrilmesiyle elde edilir. Bu ürünün Türkiye genelinde doğrulanması ve hidrolojik model uygulaması Jaber (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Coğrafi bölgelere göre yapılan analizlerde elde edilen sonuçlardan bir özet Şekil 1'de sunulmaktadır. Toplam 105 istasyonla yapılan karşılaştırmada, aylık ilişkilerde R=0.6-0.8 arasında sonuçlar elde edilmiştir. Bu veri aynı zamanda Gediz'deki bir alt havzada hidrolojik model uygulamasında kullanılmış verinin akım simülasyonundaki başarısı değerlendirilmiştir. Kalibrasyon sürecinde (Nash-Sutcliffe Verimlilik) NSE=0.60 değeri elde edilmiş olmakla birlikte sonuçlar yanlılık düzeltmesinin gereğine işaret etmektedir.

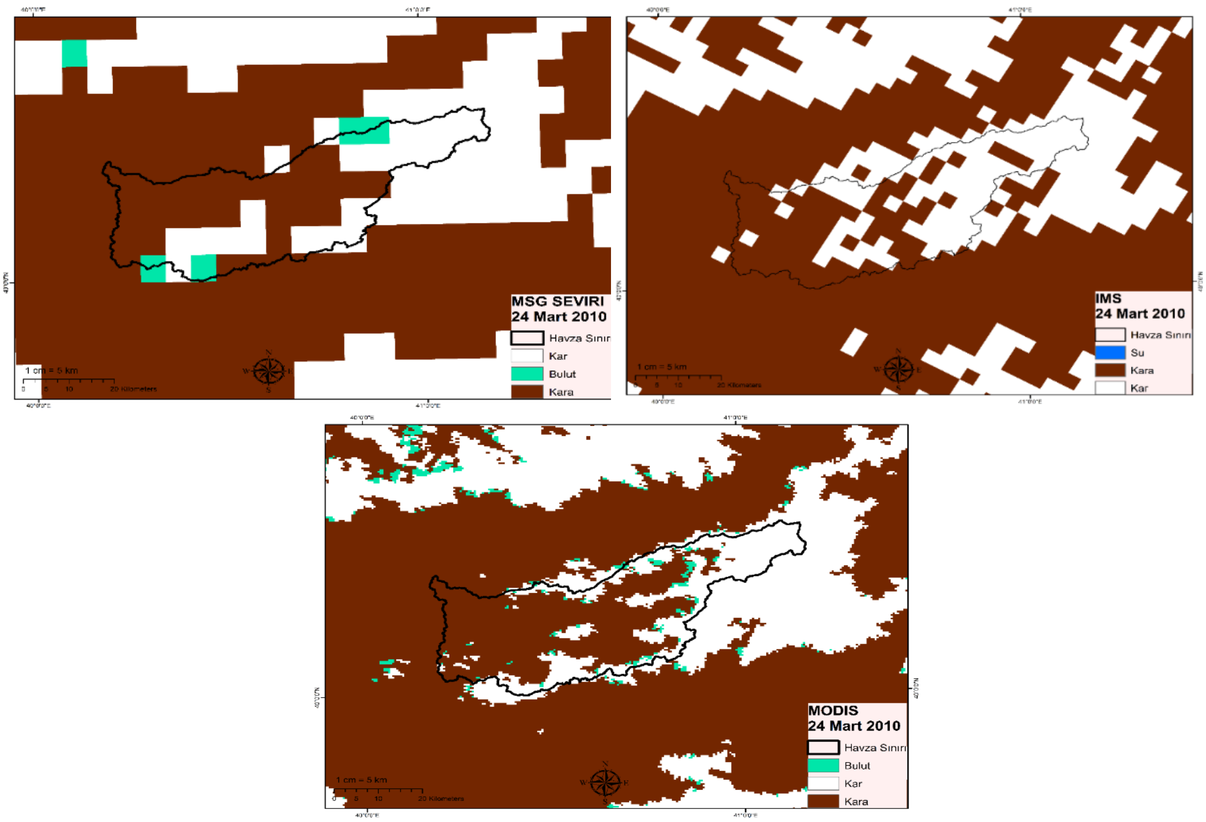


Şekil 1. SM2RAIN ürününün yer gözlemleri ile kıyası (Jaber, 2020)

UYDU KAR ÜRÜNLERİ VE KULLANIM ÖRNEKLERİ

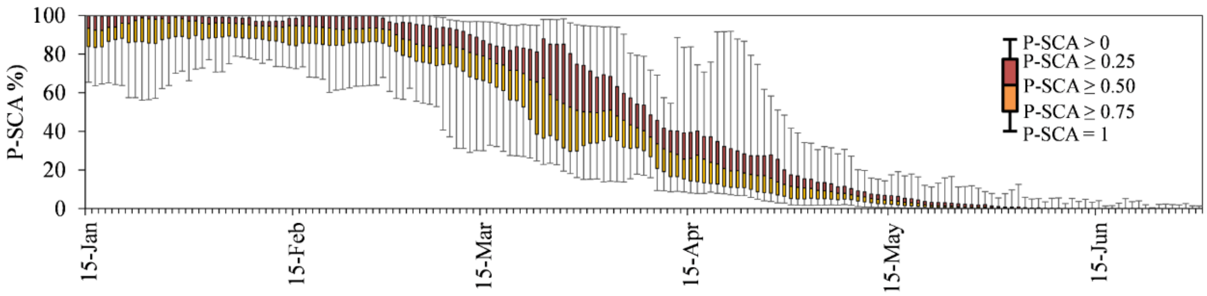
Ortalama yüksekliği 1140 m ve eğimi %20,5 olan ülkemizde kar değerli bir su potansiyeli olarak su kaynakları planlama ve yönetimi konularında önemli bir yer tutmaktadır. Bu nedenle, farklı uydu ürünleri ile farklı kar parametreleri izlenebilmektedir. Kuşkusuz en etkili iki kar değişkenleri, karla kaplı alan ve kar su eşdeğeridir. Her ikisinin de alansal ve zamansal değişiminin takip edilmesi ve hidrolojik uygulamalarda kullanılarak kar erimesine bağlı akımların tahmin edilmesi oldukça önemlidir.

Karla kaplı alan genellikle optik uydu ürünleri ile tespit edilebilmektedir. Farklı alansal, zamansal ve tayfsal çözünürlüklere sahip uydu ürünleri bulunmaktadır. Bunlara bir örnek Şekil 2'de Doğan (2018) tarafından Bayburt Havzası'nde yapılan bir çalışmada 24 Mart 2010 tarihi için sunulmaktadır.



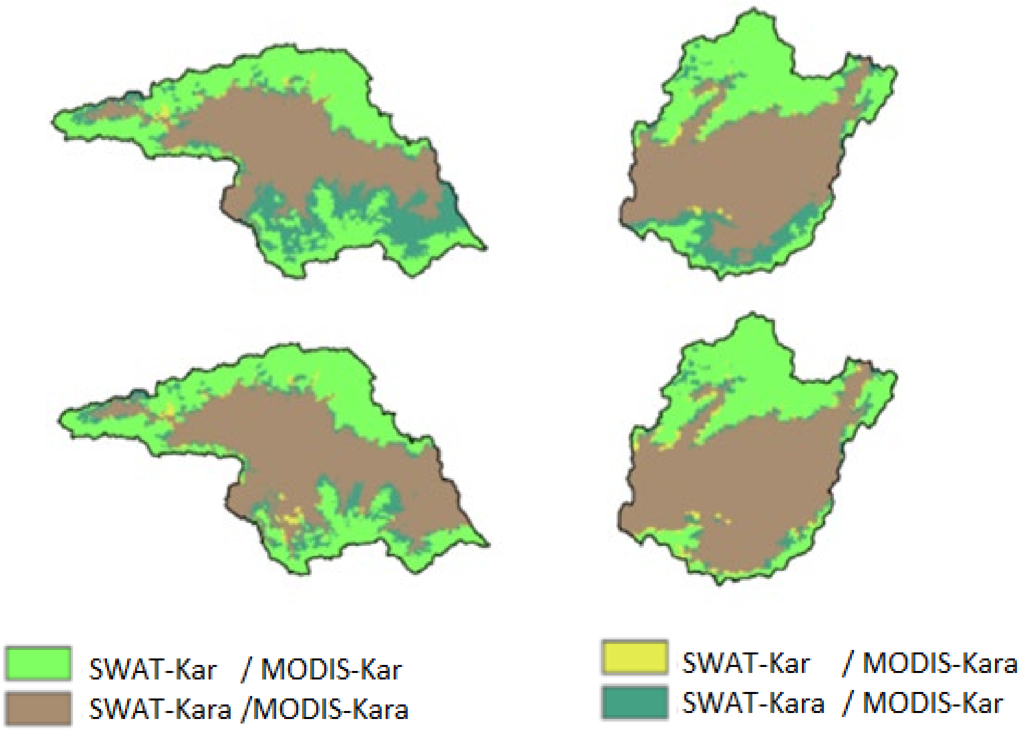
Şekil 2. Karla kaplı alan a) SEVIRI (5km) b) IMS (4 km) c) MODIS (500 m) (Doğan, 2018)

Karla kaplı alan ürünleri kullanılarak bir havza ya da bölge (ülke) genelinde kar birikme ve çekilme eğrileri elde edilebilmektedir. Özellikle maksimum, minimum ve ortalama olarak çıkartılabilen bu eğriler havzanın kar örtüsüne dair önemli bir karakteristik sunmaktadır. Bu haritalar kullanılarak elde edilen olasılık haritaları gerek olası kar potansiyeli ile ilgili bilgi vermekte gerekse hidrolojik uygulamalarda bir öngörü ya da gruplandırılmış veri (ensemble) sunabilmektedir (Şekil 3). Ayrıca kar kenar çizgisinin elde edilmesi konusunda da belirleyici olmaktadırlar.



Şekil 3. MODIS'ten üretilen olasılıklı kar çekilme eğrisi (Şorman ve diğ., 2019)

SWAT modeli ile yapılan dağılımlı bir model uygulamasında (Peker ve Şorman, 2021), akım tahminleri gerçekleştirilmiş ve gözlenen akımlarla kıyaslanmıştır. Bir başka model çıktısı olan karla kaplı alanlar gözlenen uydu görüntüleri (MODIS) ile kıyaslanmıştır (Şekil 4).



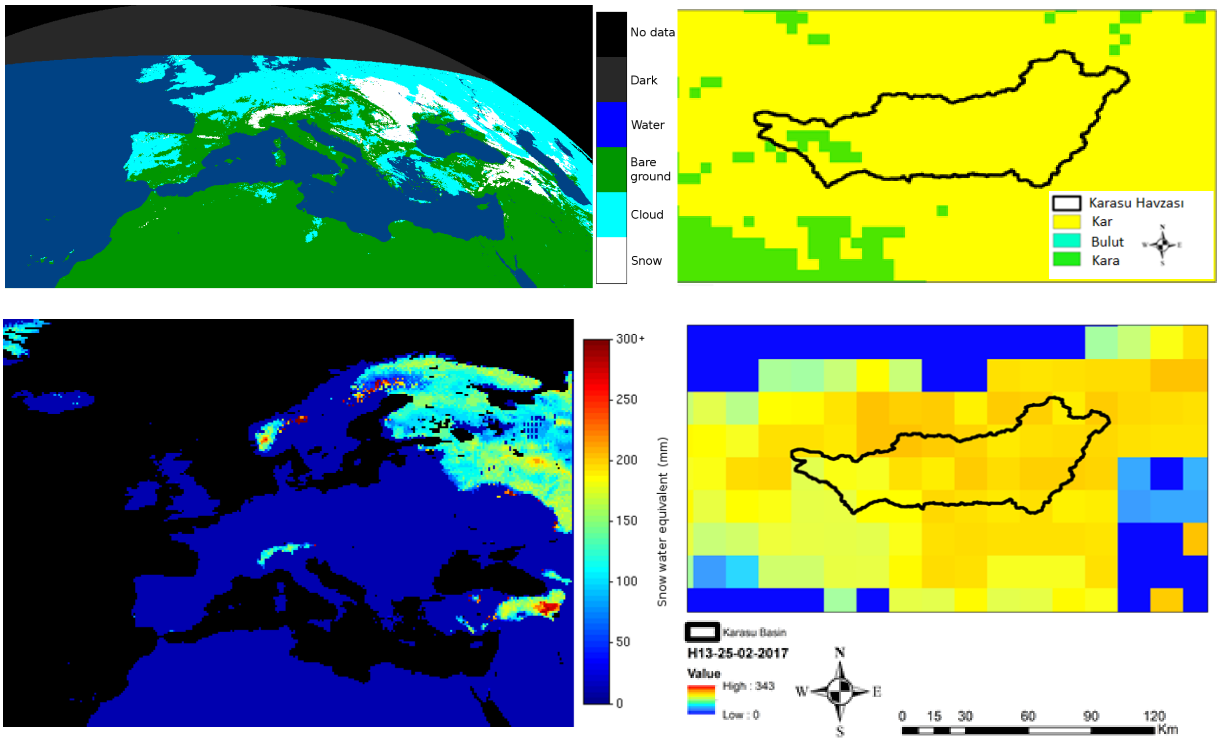
Şekil 4. SWAT ve MODIS karşılaştırması (8 Nisan 2004) Yukarı Murat ve Yukarı Karasu Havzaları (Peker ve Şorman, 2021)

MODIS karla kaplı alan ürünleri farklı model yaklaşımları kullanılarak akımların tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Bu model yaklaşımlarından bir tanesi veri güdümlü olan Yapay Sinir Ağı model yaklaşımıdır. Model yapısı kurgulanırken karla kapalı alan verisi yağış ve sıcaklık gibi temel girdi değişkenlerinden birisi olarak sunulmuştur. Bu girdinin akım tahminlerini iyileştirdiği gösterilmiştir (Uysal ve diğ., 2016).

Hidrolojik uygulamalarda kullanılmak üzere Avrupa uydularından yeni ürünlerin elde edilmesi amacını taşıyan EUMETSAT destekli H SAF (Web-2) projesinde farklı kar ürünleri üretilmektedir. Düz/ormanlık ve dağlık alanlar gözetilerek üretilen ve sonunda birleştirilerek sunulan bu ürünlerden en çok kullanılan iki tanesi kar belirleme (SE-E-SEVIRI(H10) ve kar su eşdeğeri (SW E-E-(H13)) ürünleridir (Şekil 5).

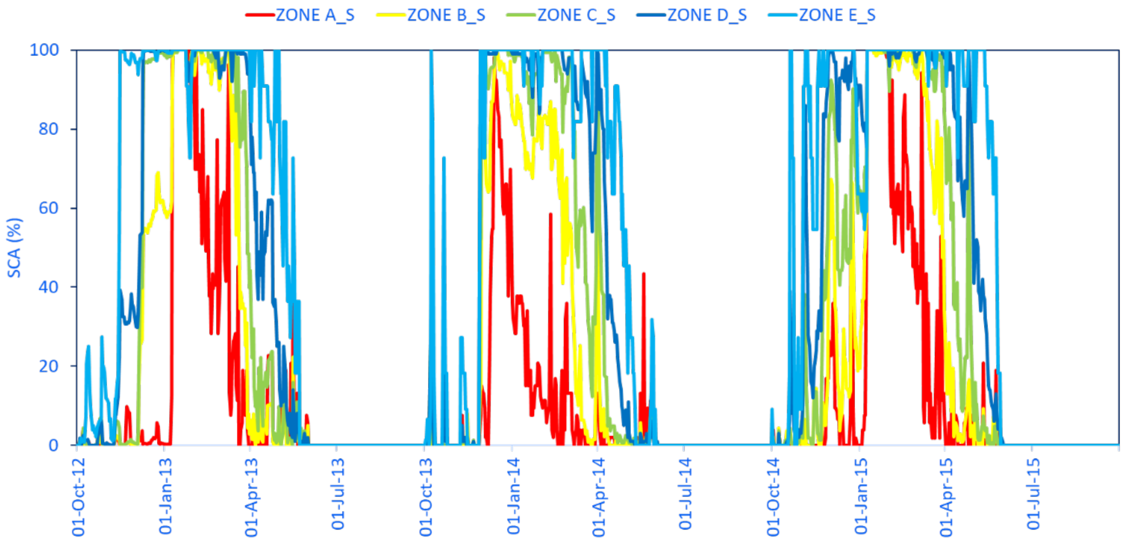
Projeden üretilen karla kaplı alan ürünleri farklı modellerde kullanılarak hem etki çalışmaları hem de hidrolojik doğrulama analizlerinde kullanılmaktadır. Ürünün alansal çözünürlüğü çalışma bölgesi için 5 km ve zamansal çözünürlüğü bir gündür. 15 dakikada bir görüntü elde edilebildiği için zamansal değişimden yararlanılarak bulut problemi en aza indirgenmektedir.

Kar su eşdeğeri ürünleri karla kaplı alandan farklı olarak karın su muhtevasına dair bilgi sağlamaktadır. Bu nedenle hidrolojik çalışmalarda önemli bir yeri bulunmaktadır. Uzaktan algılamadaki kar su eşdeğeri ölçümleri mikrodalga sensörlerle yapılmaktadır. Algoritma, karda farklı penetrasyona sahip frekanslardaki kanalların mikrodalga parlaklık sıcaklıklarının kullanımına dayanır. Karın kuru veya ıslak olmasına bağlı olarak penetrasyon değişir (kuru kar daha şeffaftır). H SAF projesinde de elde edilen kar su eşdeğeri ürünlerinde düz/ormanlık alanlar ve dağlık bölgeler için yöntem ve performans farklı olabilmektedir. Dağlık bölgeler için yöntemde kar yoğunluğunun ve kar özelliklerinin tane boyutuna göre yükseklik ve zaman ölçeğine göre değişimi dikkate alınmaktadır.



Şekil 5. H SAF Kar ürünleri a) SE-E-SEVIRI(H10) ve Karasu karla kaplı alan haritası b) SWE-E-H13 ve Karasu SWE haritası (25 Şubat 2017)

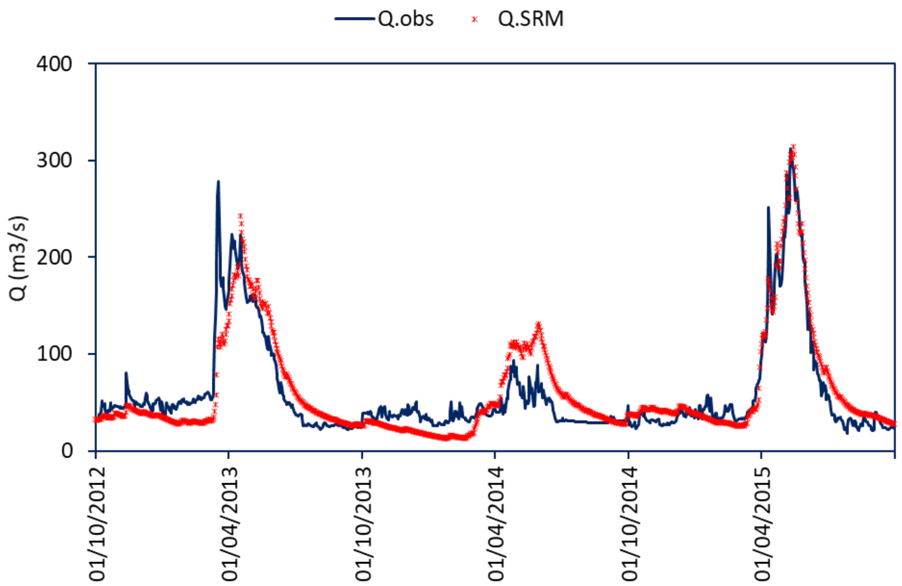
Hidrolojik model uygulamalarında SRM (Martinec, 1975), HBV (Bergström, 1976) ve HEC-HMS (USACE, 2018) gibi kavramsal modeller tercih edilmektedir. Kavramsal modellerde genellikle derece gün metodu ile kar erimesi hesaplanmakta, ayrıca sıcaklık ve yağış değişimlerini daha iyi temsil edebilmek için havza yükseklik aralıklarına bölünerek çalışılmaktadır. SRM modeli diğer kavramsal modellerden farklı olarak karla kaplı alanı ana girdilerden biri olarak almaktadır ve günlük akımların simülasyonunda ve tahmininde kullanmaktadır. Şekil 6'da 2013-2015 yılları için yapılan model çalışmasında kullanılan, SE-E-SEVIRI(H10) ürününden farklı yükseklik aralıkları (zonları) için elde edilen karla kaplı alan değişimleri görülmektedir. Bu şekilde A-E zonları 1125-3487 m aralığını temsil etmektedir. A zonu en düşük, E zonu ise en yüksek kotlu yükseklik aralığındadır. Bu nedenle kar en erken A zonunda en geç ise E zonunda çekilmektedir. Bu veriler kullanılarak Yukarı Fırat Havzasında yapılan akım simülasyonları ise Şekil 7'de görülmektedir. Bu şekilde, en kurak yıllardan biri olan 2014 yılındaki düşük akımlar ve özellikle 2015 yılındaki tahminde edilen yüksek tutarlılık dikkat çekmektedir. Model kalibrasyonu sonucunda (Kling Gupta Verimlilik) KGE=0,91 oranında bir model performansı elde edilmiştir.



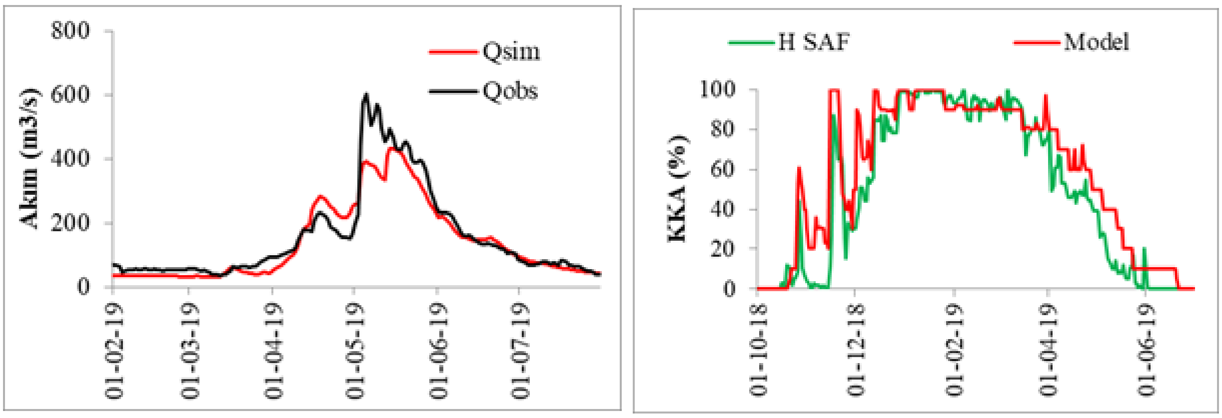
Şekil 6. Karla kaplı alan değişimi (2013-2015), Karasu Havzası yükseklik zonları

Kar erimesi konusunda dünyada en yaygın kullanılan modellerden bir tanesi de HBV'dir. Modelin temel girdi değişkenleri günlük toplam yağış, ortalama sıcaklık ve evapotranpirasyondur. Bu model uygulaması ile hem model çıktısı olarak akımlar hem de durum değişkeni olarak kar su eşdeğeri (ve ona bağlı olarak karla kaplı alan) ve toprak nemi simüle edilebilmektedir. Bu model değişkenlerinin de bağımsız ölçümler olarak uydu tabanlı karla kaplı alan ve/veya toprak nemi ürünleri ile karşılaştırılması modelin iç tutarlılığını ve buna bağlı olarak da güvenilirliğini arttırmaktadır. Şekil 8'de 2019 su yılı için model uygulama sonuçları gözlenmiş değerlerle kıyaslanmış halde görülebilir.

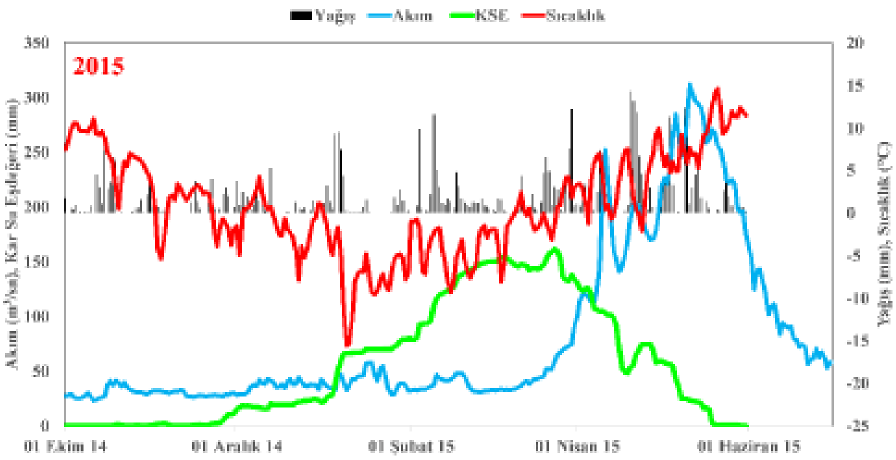
Modelleme çalışmalarında, sonuçların doğrudan kar su eşdeğeri olarak alındığı ve akımların hesaplanmadığı kar modelleri de kullanılabilmektedir. Bu çalışmalarda da derece gün yaklaşımı, kütle ve enerji dengesi metodu ya da hibrit olarak ikisi birlikte kullanılabilmektedir. Bu model yaklaşımları bir noktada ya da dağılımlı olarak tüm havzada sonuç üretebilmektedir. Şekil 9'da SNOW17 modeli ile yapılan bir uygulamada elde edilen kar su eşdeğeri sıcaklık, yağış ve akım ilişkisi içinde sunulmuştur (Ertaş, 2020).



Şekil 7. Gözlenen ve modellenen akım, SRM model sonuçları (2013-2015), Karasu Havzası



Şekil 8. HBV model sonuçları a) akım b) karla kaplı alan, (2013-2015), Karasu Havzası



Şekil 9. SNOW17 model, kar su eşdeğeri sonucu (Ertaş, 2020)

SONUÇLAR

Su kaynaklarının planlanması ve yönetiminde kullanılan değişkenlerin önemli bir kısmı uydu ürünleri ile de elde edilebilmektedir. Noktada yapılan yer gözlemlerine kıyasla bu uydu ürünlerinin alansal ve zamansal değişikliği tespit etmek konusunda avantajlar sağladığı görülmektedir. Bu durum yer gözlemlerinin değerini azaltmamaktadır, özellikle uydu ürünlerinin ilk kullanımında doğrulama amaçlı olarak yer gözlemlerinden yararlanılmaktadır. Yer gözlemlerinin kısıtlı olduğu karmaşık topoğrafyalarda uydu ürünlerinin varlığı uygulamalarda önemli katkılar sağlamaktadır. Her türlü hidrolojik uygulamada gerek duyulan temel değişken olan yağışın radarlar ve uydularla yakın gerçek zamanlı tespit edilmesi mümkündür. Bu çalışmada, çeşitli uydu yağış ürünlerinin yer gözlemleri ile kıyası ve modellerde kullanımı üzerine örnekler sunulmuştur. Son dönemde doğrudan uydu yağış ürünlerinin yanı sıra uydu toprak neminden üretilen yağış ürünleri de uygulama alanı bulmaktadır.

Ülkemizin ortalama kotu ve özellikle Doğu Anadolu Bölgesinin dağlık kesimleri kar potansiyelini önemli kılmaktadır. İklim ve topoğrafik şartlar nedeniyle yer gözlem ağının kurulmasının ve işletilmesinin zor olduğu bu bölgelerde uydu ürünlerinden elde edilen karla kaplı alan ve kar su eşdeğeri verileri modellerde farklı şekillerde kullanılabilmektedir. Bu çalışmada, diğer gözlem verilerine kıyasla sonuçlara etkisini görmek adına etki analizi sonuçlarına örnek verilmiştir. Ayrıca, bu ürünler modellerin içsel doğruluğunu tespit etmek için de kullanılabilmektedir, HBV modeli sonuçları buna örnek olarak sunulmuştur. Yer kısıtı nedeniyle sunulamayan diğer örneklerde bu veriler çoklu model kalibrasyonu yapmak üzere kullanılabilmektedir. Model güvenilirliğini artırmak ve belirsizlikleri azaltmak için bu uygulama çeşitli avantajlar sunabilmektedir. Diğer taraftan, veri asimilasyonu ile tahminlerin iyileştirilmesi aşamasında da bu ürünlerden yararlanılabilmektedir.

Farklı uydulardan elde edilen ürünlerin çeşitli avantaj ve dezavantajları olmaktadır. Bu nedenle, hidrolojik çalışmalarda yeni ürünlerin denenmesinin özellikle algoritma üreticilere fikir vermesi bakımından faydası olduğu gibi işletimsel hidrolojide alternatif ürünlerin kullanılma şansı da doğmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma konferansta davetli konuşma olarak sunulmuştur, bir birikime dayalı olarak ortaya konulan çalışmaların arka planında önemli bir ekip çalışması yer almaktadır. Bu vesile ile uydu ürünleri ile tanışmamızı sağlayan değerli hocam Prof. Dr. A. Ünal Şorman'a, çalışma arkadaşlarım Dr. A. Arda Şorman ve Dr. Gökçen Uysal ile çalışmalarda emeği geçen tüm öğrencilerime teşekkürlerimi ve saygılarımı sunuyorum. Çalışmalar EUMETSAT H SAF, COST 1404, TÜBİTAK ve BAP projeleri destekleri ile yürütülmüştür. Su kaynakları ile ilgili her türlü çalışmada veri desteğini sağlayan kurumlarımız MGM ve DSİ'ye ve katkı sağlayan değerli personeline teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Bergström, S. (1976). *Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments*.

Brocca, L., Ciabatta, L., Massari, C., Moramarco, T., Hahn, S., Hasenauer, S., ... & Levizzani, V. (2014). *Soil as a natural rain gauge: Estimating global rainfall from satellite soil moisture data*. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 119(9), 5128-5141.

Doğan, Y.O. (2018) *Çoruh Havzası'nda çok kriterli hidrolojik modelleme ve tahmin çalışması / Multi criteria hydrological modeling and forecasting study in Coruh basin,* Y. Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

Dong, C. (2018). *Remote sensing, hydrological modeling and in situ observations in snow cover research: A review*. Journal of Hydrology, 561, 573-583.

Ertaş, M.C. (2018) *Yukarı fırat havzası'nda kar bileşenlerinin ölçülmesi, doğrulanması ve modellenmesi,* Doktora Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.

Hafizi, H., & Sorman, A. A. (2022). *Assessment of 13 Gridded Precipitation Datasets for Hydrological Modeling in a Mountainous Basin*. Atmosphere, 13(1), 143.

Jaber, A. (2020). *Evaluating SM2RAIN and WRF reanalysis precipitation datasets over Turkey and hydrological model application,* MSc. Thesis Dissertation, Eskişehir Technical University, Eskişehir, Turkey.

Kidd, C., Becker, A., Huffman, G. J., Muller, C. L., Joe, P., Skofronick-Jackson, G., & Kirschbaum, D. B. (2017). *So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges?* Bulletin of the American Meteorological Society, 98(1), 69-78.

Liu, X., Yang, T., Hsu, K., Liu, C., & Sorooshian, S. (2017). *Evaluating the streamflow simulation capability of PERSIANN-CDR daily rainfall products in two river basins on the Tibetan Plateau*. Hydrology and Earth System Sciences, 21(1), 169-181.

Martinec, J. (1975). *Snowmelt-runoff model for stream flow forecasts*. Hydrology Research, 6(3), 145-154.

Peker, I. B., & Sorman, A. A. (2021). *Application of SWAT Using Snow Data and Detecting Climate Change Impacts in the Mountainous Eastern Regions of Turkey*. Water, 13(14), 1982.

Puca, S., Porcu, F., Rinollo, A., Vulpiani, G., Baguis, P., Balabanova, S., ... & Gattari, F. (2014). *The validation service of the hydrological SAF geostationary and polar satellite precipitation products*. Natural hazards and earth system sciences, 14(4), 871-889.

Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. (2018). *A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons*. Reviews of Geophysics, 56(1), 79-107.

Şorman, A. A., Uysal, G., and Şensoy, A. (2019) *Probabilistic snow cover and ensemble streamflow estimations in the Upper Euphrates Basin*, J. Hydrol. Hydromech., 67, 82–92, https://doi.org/10.2478/johh-2018-0025, 2019.

USACE. (2018). *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User's Manual*: Version 4.3.0. CA, USA: Hydrologic Engineering Center: Davis.

Uysal, G., & Şorman, A. Ü. (2021). *Evaluation of PERSIANN family remote sensing precipitation products for snowmelt runoff estimation in a mountainous basin*. Hydrological Sciences Journal, 66(12), 1790-1807.

Uysal, G., Şensoy, A., & Şorman, A. A. (2016). *Improving daily streamflow forecasts in mountainous Upper Euphrates basin by multi-layer perceptron model with satellite snow products*. Journal of Hydrology, 543, 630-650.

Yilmaz, M., Amjad, M., Bulut, B., Yılmaz, M.T. (2017). *Investigation of the dependence of satellite-based precipitation estimate errors to distance from the coastline*. Technical Journal, 28-3, 7993-8005 0017-06-29.

Web-1: https://blogs.egu.eu/divisions/hs/2020/10/28/water-towers-of-mesopotamia/, 24 Ocak 2022 tarihinde ulaşıldı.

Web-2: https://hsaf.meteoam.it/, 24 Ocak 2022 tarihinde ulaşıldı.

Use of Artificial Intelligence for Precipitation Remote Sensing from Satellite

Daniele CASELLA
Invited Speaker

National Research Council of Italy (CNR) – Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC), Roma, Italy
d.casella@isac.cnr.it

ABSTRACT

The remote sensing of precipitation from satellite was challenging since the '60s. The availability of satellite radar measurements from the TRMM, GPM and CloudSat missions, and the optimal coverage provided by the constellation of passive microwave radiometers, paved the way through a golden era for remote sensing of precipitation. The quantity and the quality of the satellite data, that are currently available, allow the exploitation of artificial intelligence techniques, which are showing their full potential in remote sensing applications. Still, the scientific community is facing some challenges; the measure of snowfall from space is one of them. The advanced machine learning techniques (e.g. deep learning convolutional neural network) are suitable to tackle the complex issues related with the remote sensing of snowfall, such as the complex radiative effects of snowflakes and the extremely variable surface emissions of snow covered backgrounds and sea ice. The presentation will introduce the fundamental aspects of the MW-based remote sensing of precipitation, and will focus on the most recent advances in the use of artificial intelligence for the detection and estimate of rainfall and snowfall with MW radiometers.

***Keywords**:* Neural networks, deep learning, machine learning, convolutional neural networks, MW, satellite precipitation retrieval, snowfall.

The Effects of High Resolution Satellite-Derived Sea Surface Temperature on Precipitation and Streamflow Estimates

İsmail YÜCEL
Invited Speaker
Middle East Technical University
iyucel@metu.edu.tr

ABSTRACT

This study investigates the impact of the spatio-temporal accuracy of four different sea surface temperature (SST) datasets on the accuracy of the Weather Research and Forecasting (WRF)-Hydro system to simulate hydrological response during two catastrophic flood events over the Eastern Black Sea (EBS) and the Mediterranean (MED) regions of Turkey. Three daily-updated and high spatial resolution external SST products (GHRSST, Medspiration, and NCEP-SST) and one coarse-resolution and time-invariant SST product (ERA5- and GFS-SST for EBS and MED regions, respectively) already embedded in the initial and the boundary conditions datasets of WRF model are used in deriving near-surface atmospheric variables through WRF. Event-based calibration is performed to the WRF-Hydro system using hourly and daily streamflow data in both regions. The uncoupled model simulations for independent SST events are conducted to assess the impact of SST-triggered precipitation on simulated extreme runoff. Some localized and temporal differences in the occurrence of the flood events with respect to observations depending on the SST representation are noticeable. SST products represented with higher cross-correlations (GHRSST and Medspiration) revealed significant improvement in flood hydrographs for both regions. The GHRSST dataset shows a substantial improvement in NSE (~70%) and KGE (from 0.06 to 0.3) with respect to the invariable SST (ERA5) in simulated runoffs over the EBS region. Reduction in RMSE up to 20% and an increase in correlation from 0.3 to 0.8 is observed for the same region. The use of both GHRSST and Medspiration SST data characterized with high spatio-temporal correlation resulted in runoff simulations exactly matching the observed runoff peak of 300 m3/s by reducing the overestimation seen in invariable SST (GFS) in the MED region.

***Keywords**:* WRF, WRF-Hydro, SST, runoff prediction, precipitation.

Yüksek Çözünürlüklü Uydu Tabanlı Deniz Seviye Sıcaklıklarının Ekstrem Yağış ve Akış Tahminlerine Etkisi

ÖZET

Bu çalışma, dört farklı deniz yüzeyi sıcaklığı (SST) veri setinin uzaysal-zamansal doğruluğunun, Doğu Karadeniz (EBS) ve Akdeniz (MED) Bölgeleri üzerindeki iki önemli sel olayı sırasında hidrometeorolojik tepkiyi simüle etmek için Hava Araştırması ve Tahmini (WRF)-Hidro sisteminin doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmaktadır. Üç zaman değişkenli ve yüksek uzamsal çözünürlüklü harici SST ürünü (GHRSST, Medspiration ve NCEP-SST) ve WRF modelinin başlangıç ve sınır koşulları veri kümeleri içinde bulunan bir kaba çözünürlüklü SST ürünü (sırasıyla EBS ve MED bölgeleri için ERA5 ve GFS-SST) kullanılarak yüzeye yakın atmosferik değişkenler WRF ile türetilmiştir. Her iki bölgede de saatlik ve günlük akış verileri kullanılarak WRF-Hidro sistemine uygun olay tabanlı kalibrasyon gerçekleştirildikten sonra, SST ile tetiklenen yağışın simüle edilmiş aşırı akış üzerindeki etkisini değerlendirmek için SST olayları kalibre edilmiş model ile koşturulmuştur. SST temsiline bağlı olarak gözlemlere göre taşkın olaylarının meydana gelmesinde bazı yerel ve zamansal farklılıklar oluşmuştur. Daha yüksek çapraz korelasyonlarla (GHRSST ve Medspiration) temsil edilen SST ürünleri, her iki bölge için sel hidrograflarında önemli bir gelişme olduğunu ortaya çıkarmıştır. GHRSST veri seti, EBS bölgesi üzerinde simüle edilmiş akışlarda NSE'de önemli bir gelişme (~%70), RMSE'de %20'ye varan azalma ve ERA5 SST'ye göre korelasyonda 0,3'ten 0,8'e bir artış gösterir. Yüksek uzaysal-zamansal korelasyon ile karakterize edilen hem GHRSST hem de Medspiration SST verilerinin kullanımı, MED bölgesindeki GFS SST'de görülen fazla tahmini azaltarak, gözlemlenen 300 m3/s'lik akış tepe noktasıyla tam olarak eşleşen akış simülasyonları vermiştir. Ayrıntılı SST gösterimi ile WRF modelinin geliştirilmiş yağış simülasyon becerileri, GHRSST ve Medspiration simülasyonlarının hidrograflarının, gözlemlenen yağış ile simüle edilmiş hidrograflara kıyasla daha iyi performans gösterdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Akış tahmini, SST, WRF, WRF-Hydro, yağış.

Using a Small X-band Radar to Fill a Gap in a National Weather Radar Network

Neil I. FOX, Mervegül ÖZDAŞ, Christopher STEWARD
Invited Speaker

University of Missouri, Columbia, MO 65211, USA
Atmospheric Science Program, School of Natural Resources
foxn@missouri.edu; mozdas@mail.missouri.edu; casvf9@mail.missouri.edu

ABSTRACT

National weather radar networks are often designed to cover an entire country. However, practical constraints can mean that the distribution may be uneven, and some areas will have poorer coverage than others. In the US, despite the deployment of more than 160 radars, the state of Missouri has some of the largest gaps in National Weather Service coverage outside of the mountainous areas of the western US. The MZZU X-band dual-polarization radar was installed in 2015 and covers a well-populated area of Central Missouri more than 120 km from the nearest NWS radar.

This paper discusses the characteristics of the MZZU radar and the data processing needed to ensure data quality. It will examine some cases during which the MZZU radar added information to that available from the NWS radars and demonstrate how small radars, such as MZZU, can be used to fill critical gaps in national network coverage.

***Keywords*:** Radar meteorology, gap-filling radar, X-band.

INTRODUCTION

Many countries around the world have installed national weather radar networks in the last two decades. Such networks are designed to provide critical meteorological information such as storm and flood warnings, as well as data for meteorological models. For the warning application, the aim of such networks is to cover the entire population. However practical considerations, such as siting limitations and cost, sometimes mean that some areas are not adequately covered.

The US National Weather Service (NWS) completed development of the Nexrad network in the mid-1990s and although the radars and data processing have been significantly upgraded since that time, there have been no additional sites added to the network in the continental US. Figure 1 shows the locations of the NWS radars in the continental United States with shading showing areas where the lowest beam is below 900 m (3000 ft), 1800 m (6000 ft), and 3000 m (10000 ft). While the vast majority of the population is well-covered by the radar network there are some notable areas where coverage is less than optimal. This is seen in areas where the lowest beam is above 1800 m. Most of these areas lie in the mountainous west where there are obvious siting issues and low population density. Other regions that are not well served include low population density areas in the northern US and in the desert southwest. However, there are also a number of places in which a significant population reside, but have poor radar coverage. This includes large sections of the northeast and southeast of Missouri.

It has been proposed that smaller, cheaper weather radars could be used to cover the gaps in coverage (Uccellini and Jacobs 2017). Some radars have been installed in areas such as southeast Colorado, northern Louisiana, and central Missouri. While methodologies have been developed for improve the spatial coverage of radar-based precipitation fields, these are limited by the alternative observations in the poorly served area, and still underperform compared to areas closer to a radar (Martinaitis et al., 2020). The areas of Missouri that have imperfect radar coverage also suffer from a lack of surface observation sites.

In this paper we describe the MZZU radar that has been situated in central Missouri for more than five years, and is operated by the University of Missouri. We will then provide examples of its use for supplementing the NWS radar network in wintertime situations, where storms are confined to levels below the NWS radar coverage; warm season convective storms where distance from the NWS radars means that storm structure is poorly resolved; and rainfall observations which benefit from radar observations at higher resolutions and closer to the surface than those available from the more distant NWS radars.

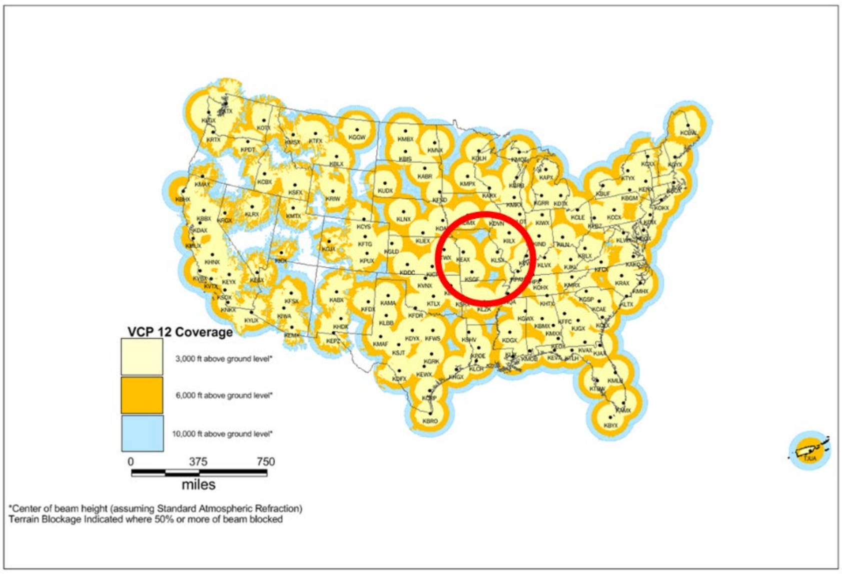


Figure 1: Coverage of Nexrad radars below about 900 m, 1800 m and 3000 m above ground level. Missouri is circled in red. (https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/Maps.aspx)

THE MZZU RADAR

The MZZU radar (Fig. 2) was installed in July 2015 outside of Columbia, Missouri as part of a project funded by the National Science Foundation. The radar is an X-band, dual-polarization with a beamwidth of 1.26°. It is operated with a maximum range of about 80 km, a lowest elevation angle of 0.9°, with a regular volume scan using 10 elevations up to a maximum of 19°. Volume scans are completed in less than 4 minutes. As a research radar, the location was not optimized to fill the gaps in the network, but its domain does cover Columbia (home of the University of Missouri) and Jefferson City (the state capital), as well as a number of other towns. In total the population residing within the domain is in excess of 500,000. As can be seen from Figure 3, there is a large area serviced by MZZU coverage below 1200 m, whereas the beams from NWS radars are above 2000 m.

Figure 2: The MZZU radar.

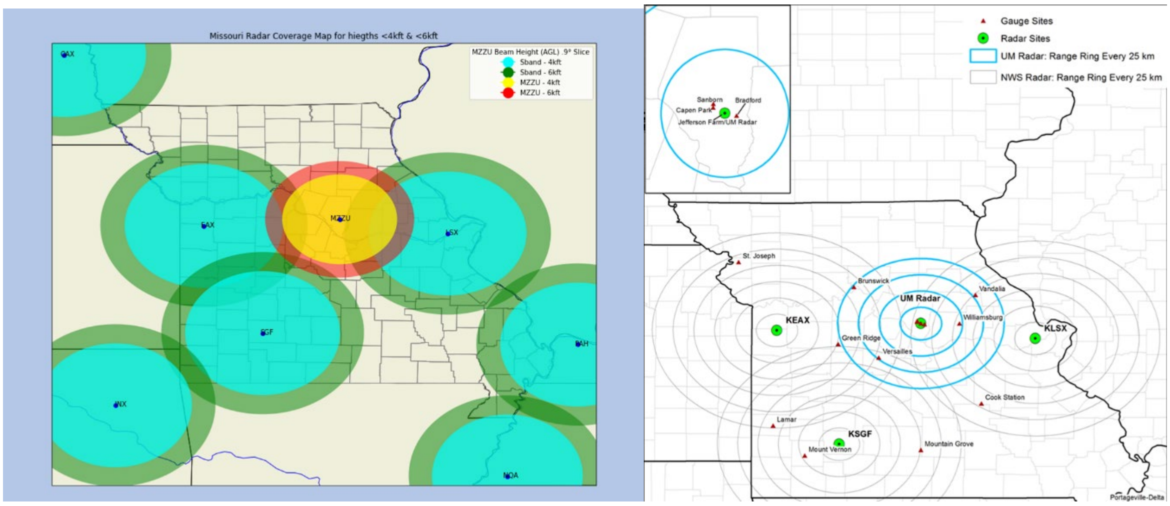


Figure 3: Left panel: illustration of the coverage of Missouri, by the NWS radars (cyan area showing beam height below 1200 m, green areas show coverage below 2000 m) and MZZU (yellow area showing beam height below 1200 m, red areas show coverage below 2000 m). Right panel: location of MZZU with 25 km range rings, with NWS MO radars (St. Louis – KLSX; Pleasant Hill – KEAX; Springfield – KSGF).

The radar records reflectivity (Z), differential reflectivity (ZDR), cross-correlation coefficient (ρ_{HV}), differential phase shift (φ_{DP}), and specific differential phase shift (K_{DP}). As the radar operates at X-band there is significant attenuation of signal power in moderate and heavy rain, resulting in inaccurate observations of Z and ZDR. An attenuation correction scheme based on the procedures recommended by Bringi et al. (1990), and tested by a number of groups (e.g., Koffi et al., 2014, Matrosov et al., 2005; 2014), has been implemented based on a novel retrieval of K_{DP} (Wen et al., 2019, 2020).

The novel K_{DP} retrieval scheme of Wen et al. (2019) utilizes a Gaussian mixture model (GMM) to assess the gradient in φ_{DP}, rather than a linear fitting method. The advantages of the GMM are that it does a better job of identifying localized, high K_{DP} areas characterized by rapid changes in φ_{DP} gradient. It also provides a measure of uncertainty in the retrieval that can then be propagated through the attenuation correction to give a realistic estimate of the uncertainty in the reflectivity observation (Wen et al., 2020).

Figure 4 shows an example of the quality control and attenuation correction process from 9 June 2020. In the raw reflectivity field (top left) a general decrease in reflectivity with range from the radar is evident. The K_{DP} field produced using the GMM method (bottom left) is used to generate the attenuation correction, and also provides an indication of heavier rain, illustrated by the north-south line of higher K_{DP} values to the west of the radar. After attenuation correction (top right), the reflectivity field appears more realistic, without the drop-off with range, and with the line of heavier rain more evident. The accuracy of the retrieved fields is tested through comparisons of quantitative precipitation estimates with rain gauge observations. Also shown in Figure 4 is the accompanying field of reflectivity uncertainty which is calculated using the error estimation of the GMM process for deriving K_{DP}. In this case the uncertainty field appears uniform, but this is not always the case. When there are sharp gradients in K_{DP}, such as when there are isolated storms, greater uncertainties are observed.

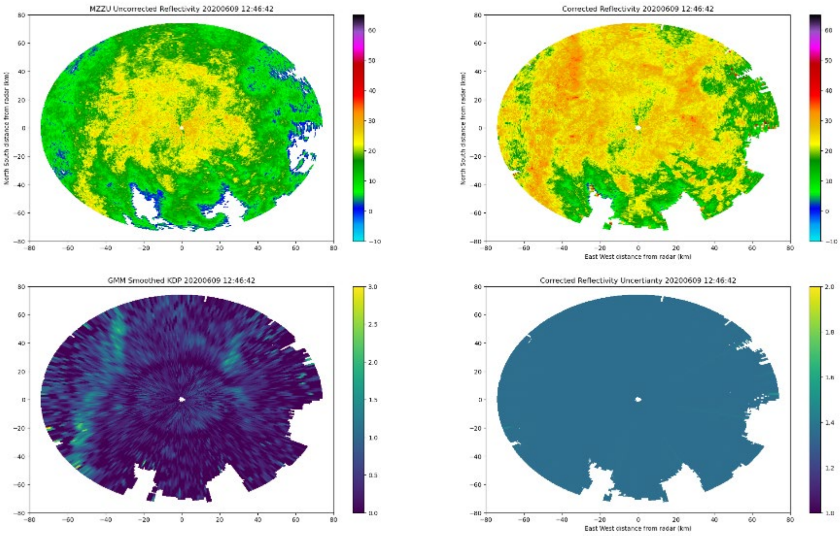


Figure 4: Example of raw reflectivity (dBZ) (top left), KDP (° km^{-1}) (bottom left) and attenuation corrected reflectivity (dBZ) (bottom right) from the MZZU radar. The estimated uncertainty in reflectivity (dBZ) is also shown (bottom right).

Cool Season event

During winter precipitation systems can be confined in vertical extent to shallow layers. For a radar at a range of 100 km with a lowest elevation angle of about 0.5° from a storm, the centre of the beam is more than 1500 m above radar height, and by the time the range reaches 125 km this increases to more than 2000 m. This increase in beam height grows rapidly beyond this range, such that shallow winter-time systems are either not captured by the distant radar, or their strength is underestimated as the radar beam is only partially filled by hydrometeors (small ice crystals) at the top of the cloud.

Figure 5 illustrates two examples of how a gap-filling radar can improve coverage of a widespread cool season event. In each case the combined reflectivity field from the two NWS radars in St. Louis and Pleasant Hill is shown in the top panel, while the middle row shows the result of adding data from MZZU, situated between the two.

In the case from 27 November 2015 (left hand panels) it appears from the NWS radars alone that the precipitation has mostly exited the central Missouri region surrounding MZZU. This could give the impression that precipitation was ending in the area, and total precipitation was lower than it was. Once the data from MZZU is incorporated, it can be seen that precipitation is ongoing and will continue. This information can help with travel advisories and effective deployment of road clearing resources in the case of snow.

A more common situation was seen on 16 February 2016 (right hand panels). In this case both the NWS radars (EAX and LSX) overshoot the shallow precipitation in the centre of the state, providing an artificial view of the conditions in that area. As can be seen from the difference field in the bottom panel, the reflectivity observed by the MZZU radar, close to the surface, indicated the presence of significant precipitation. The line to the northwest of the radar showing underestimates in reflectivity on the order of 35 dBZ, in reality represented an approaching freezing line ahead of where rain was transitioning to snow. This high-reflectivity feature located the descending melting layer as it traversed the area. This was associated with significant freezing rain and icing. This icing resulted in significant disruption and the accurate identification of the progression of features such as this is critical for effective management of transportation, utilities, and emergency services.

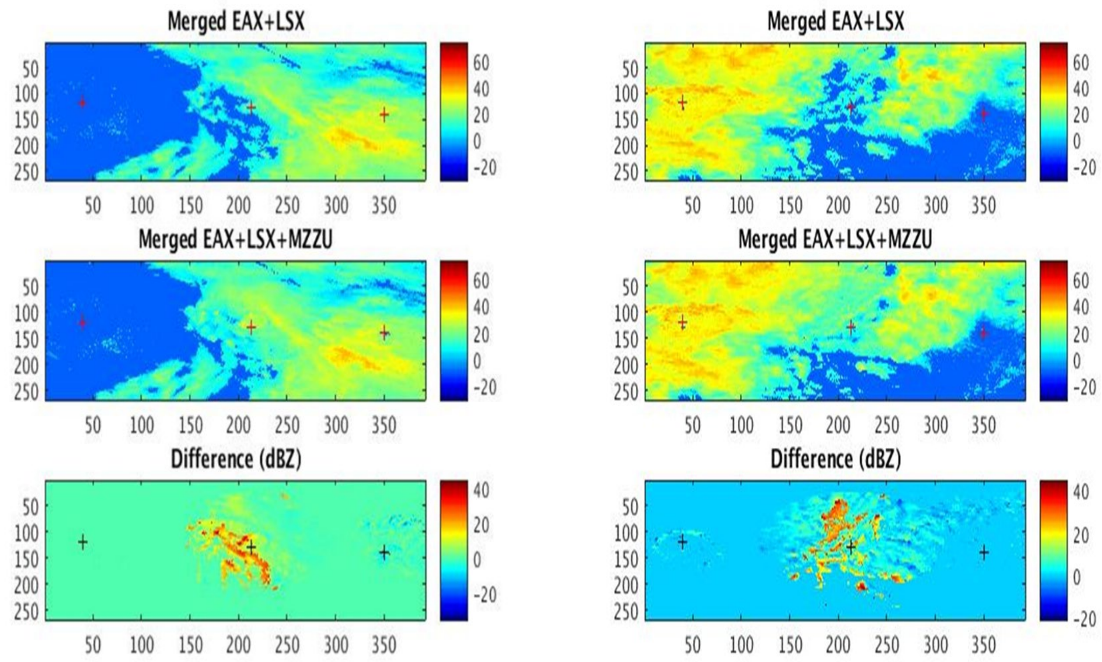


Figure 5: Two examples of cold season events. The left side shows reflectivity from 27 November 2015 at 0422 UTC. The right side is from 16 February 2016 at 1420 UTC. In each case the top panel shows the merged (composite) reflectivity (dBZ) from the St. Louis (LSX) and Pleasant Hill (EAX) radars. The middle panels show the merged (composite) reflectivity from the LSX, EAX, and MZZU radars. The bottom panel shows the difference in the reflectivity fields. The + symbols show the locations of EAX (west), MZZU (centre), and LSX (east), and the axes are in km.

Isolated Convective storms

Cases involving isolated convection can benefit from the enhanced observations of a radar sited closer to the storms. One aspect of this is the increased resolution offered by the local radar. As the range increases the width of the radar beam does so as well, such that a beam with a width of 1° will have a diameter of more than 2 km at a range of 125 km. This considerably limits the distant radar's ability to identify small-scale features of a storm that may be critical to identifying its behaviour and severity. In addition to this problem, the altitude of the beam above the surface can restrict the ability to track important low-level features.

Figure 6 shows an example of storms that occurred on 10 August 2016 that caused street flooding in downtown Columbia, MO. Here, the comparison is made between the reflectivity observed using the St. Louis radar (LSX) and the MZZU radar. LSX records lower reflectivities, and the storms appear to have a larger spatial extent. When observed from MZZU the data shows much more localized rainfall with higher reflectivities, allowing the identification of heavy rain cores over the urban area.

Also clear in the image from MZZU is the presence of a radar fine line moving east to west across the area. This shows the progress of the outflow boundary created by the convective storms, and represents a line along which further convection may develop or existing storms can be strengthened. The location of the line allows for short-period forecasts of convective development and enhancement. This is a low-level feature confined to the boundary layer, and is therefore not observable using the LSX data as the height of its beam would be well above the targets producing the reflectivity.

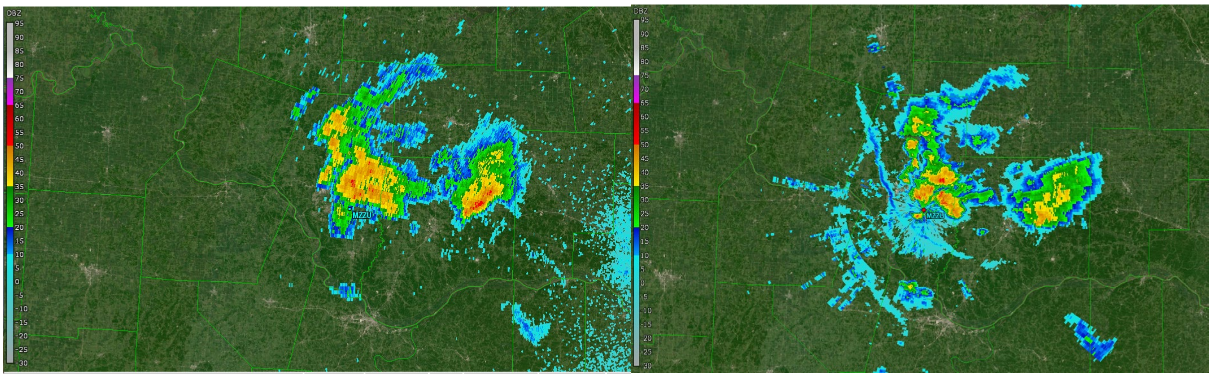


Figure 6: Reflectivity images from the LSX radar (left) and MZZU (right) from 10 August 2016 at 2209 UTC. The MZZU data is not corrected for attenuation.

Rainfall Observations

As a consequence of the demonstrable advantages of the proximity of the radar seen in the previously presented examples, it is reasonable to expect that quantitative precipitation estimates would also be improved by using data from the nearby radar. This has the advantages of both higher resolution and observations closer to the surface which, in turn, reduces errors in observation caused by changes in the rainfall as it falls from the height of the radar beam to the ground below.

Figure 7 shows an example of one hour of rainfall accumulation estimated from the observations of the three radars that cover Mid-Missouri. In each case the rainfall is calculated using the standard convective R(Z) relationship of $Z = 300R^{1.4}$. Even though the fields are gridded at the same scale, it can be seen that the MZZU data captures far greater detail and much higher rainfall amounts than the other two radars. The MZZU data has been attenuation corrected, but there still appears to be evidence of attenuation in the systematic reduction in rainfall totals with distance from the MZZU radar. The rainfall totals retrieved from the KLSX data are substantially lower and have a more even distribution, and this is even clearer in the KEAX field, due to the greater distance of that radar.

The point values displayed in the figures are those obtained from the radar data for locations at which a raingauge was situated. In all cases the actual gauge observations were significantly higher than those retrieved from the radars, but the totals from the MZZU measurements were closer to the gauge amounts.

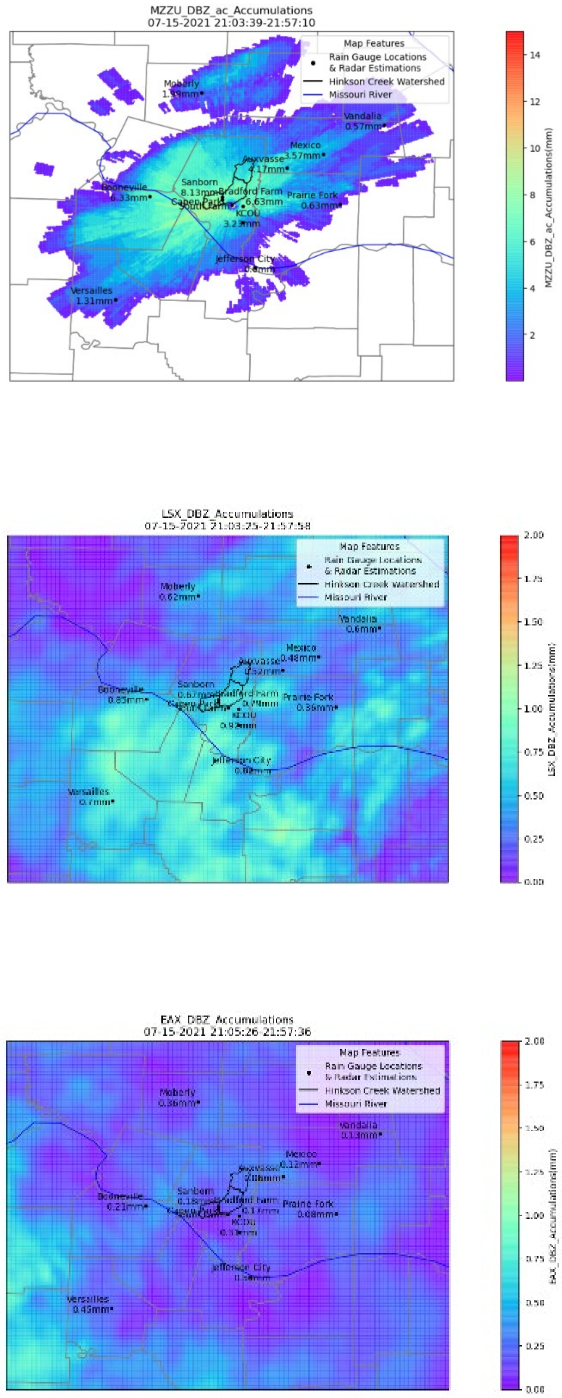


Figure 7: Rainfall accumulations for 21-22 UTC on 15 July 2021 from simple R(Z) relationships for the three individual radars MZZU (top), KLSX (middle), and KEAX (bottom). Point values for locations corresponding to gauges are shown.

CONCLUSION

It is clear that there are substantial benefits available through the use of a short-wavelength meteorological radar in a region with sub-optimal coverage from a national network. However, more analysis is required to determine quantitatively the improvements gained. At present the MZZU radar operates as an independent instrument and options for integration of the data into a comprehensive radar product are being explored. Data is automatically delivered to the National Severe Storms Laboratory (NSSL) for incorporation into the research and development version of the Multi-Radar Multi-Sensor (MRMS) (Zhang et al. 2011), as well as publicly available repositories. Meanwhile the NWS Forecast Office in St. Louis, MO accesses the data from MZZU on an ad-hoc basis. Columbia, MO is at the western edge of this office's coverage warning area, and storm systems passing over MZZU tend to propagate toward the St. Louis area. Therefore, there is potential for improved observations to contribute to both warnings in Mid-Missouri and the major metropolitan area of St. Louis. Yet, to date, a systematic study of the value of MZZU data to the warning operations of the Forecast Office has not been attempted.

There is work ongoing to compare retrieved rainfall rates from MZZU to those calculated using KLSX, as well as satellite observations, such as those using the Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) algorithm (Skofronick–Jackson et al., 2017). The qualitative assessment presented here only utilizes the base reflectivity in the rainfall calculation, but exploitation of the full capacity of the dual-polarization products should improve retrievals greatly.

ACKNOWLEDGEMENTS

The MZZU radar was installed thanks to the National Science Foundation Experimental Program to Stimulate Competitive Research (EPSCoR) Award #IIA-1355406 and #IIA-1430427.

REFERENCES

Bringi, V.N., V. Chandrasekar, N. Balakrishnan, and D.S. Zrnić (1990), An Examination of Propagation Effects in Rainfall on Radar Measurements at Microwave Frequencies, J. Atmos. Ocean. Technol. 7, 829–840.

Koffi, A., M. Gosset, E.P. Zahiri, A. Ochou, M. Kacou, F. Cazenave, and P. Assamoi (2014), Evaluation of X-band polarimetric radar estimation of rainfall and rain drop size distribution parameters inWest Africa. Atmos. Res., 143, 438–461.

Martinaitis, S. M., A. P. Osborne, M. J. Simpson, J. Zhang, K. W. Howard, S. B. Cocks, A. Arthur, C. Langston, and B. T. Kaney, 2020: A physically based multisensor quantitative precipitation estimation approach for gap-filling radar coverage. *J. Hydrometeor.*, **21**, 1485–1511. doi:10.1175/JHM-D-19-0264.1

Matrosov, S.Y., P.C. Kennedy, and R. Cifelli (2014), Experimentally based estimates of relations between X-band radar signal attenuation characteristics and differential phase in rain. J. Atmos. Ocean. Technol., 31, 2442–2450.

Matrosov, S.Y. D.E. Kingsmill, B.E. Martner, and F.M. Ralph (2005), The utility of X-band polarimetric radar for quantitative estimates of rainfall parameters. J. Hydrometeorol., 6, 248–262.

Skofronick–Jackson, G., Petersen, W.A., Berg, W., Kidd, C., Stocker, E.F., Kirschbaum, D.B., Kakar, R., Braun, S.A., Huffman, G.J. Iguchi, T., et al. (2017), The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission for Science and Society. Bull. Am. Meteorol. Soc., 98, 1679–1695.

Uccellini, L.W. and N.A. Jacobs (2017), Gaps in NEXRAD Radar Coverage, NOAA Report to Congress, 28pp.

Wen, G., Fox, N.I., and Market, P.S. (2019), A Gaussian mixture method for specific differential phase retrieval at X-band frequency, Atmos. Meas. Tech., 2019, 12(10), 5613–5637.

Wen, G., Fox, N.I., and Market, P.S. (2020), The quality control and rain rate estimation for the X-band dual-polarization radar in central Missouri: A study of propagation of uncertainty. Remote Sensing, 12(7), 1072.

Zhang, J., and Coauthors, 2011: National Mosaic and Multi-Sensor QPE (NMQ) System: Description, results, and future plans. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **92**, 1321–1338. doi:10.1175/2011BAMS-D-11-00047.1

Operational Weather Radar in the United States and Canada: Past, Present, and Future

Samuel MILLER
Invited Speaker

Judd Gregg Meteorology Institute, Plymouth State University
Plymouth, New Hampshire USA
stmiller@plymouth.edu

ABSTRACT

The origins of weather radar can be traced back to the basic physics of EMR, developed by European scientists in the middle of the 19th Century; the early engineering work in wireless communications and remote sensing of the early 20th Century; and of course, the intensive efforts on all sides of World War Two to develop practical radar. Radar meteorology began shortly after the war, when surplus radar equipment became available for experimentation by meteorologists. Since then, many improvements have been made, with the solid-state electronics and computer revolutions resulting in some of the most important ones. Currently the United States maintains two primary operational weather radar networks: The WSR-88D system, and the TDWR system. Canada operates its own network of operational weather radar sites, arrayed along the southern tier of the country. Canada is in the midst of a major project to upgrade and expand their network of weather radars, replacing older C-band systems with S-band systems that are quite similar to the WSR-88D design. Both U.S. networks are approaching the end of their design life and are scheduled to be replaced with a new network of phased array installations within the next decade. The new system will also replace two aviation radar systems, reducing the total number of combined sites from about 550 to about 335. The speed of the new phased array radars also opens up new possibilities for Warn-On-Forecast in severe weather scenarios.

Keywords: Operational weather radar, WSR-88D, TDWR, United States, Canada.

The Past. The origins of radar can be traced back at least as far as the 19th Century. In 1842, Christian Andreas Doppler first described the observed frequency shift of light (and sound) that results when a source is moving with respect to the observer, which is the physical basis by which modern weather radar determines if a target is inbound or outbound (Rinehart 2004). This was independently discovered by H. Louis Fizeau, who also formalized the mathematical theorem for the effect (Houdas 1991).

In 1865, James Clerk Maxwell showed that electrical and magnetic fields travel through space as “waves,” moving at the speed of light. This was his classical theory of electromagnetic radiation, unifying electricity, magnetism, and radiation as different manifestations of the same thing (Maxwell 1864). In 1886, Heinrich Rudolf Hertz determined that an electric current swinging rapidly back and forth in a conducting wire would cause the wire to emit electromagnetic radiation (EMR). He is also known for *proving* the existence of electromagnetic waves, which had been proposed by Maxwell (O’Connor and Robertson 2007).

In the early 1890s, Gugielmo Marconi developed a system for the practical transmission and reception of radio waves, or “wireless” systems. By the end of the decade, he was able to transmit and receive EMR signals over a distance of more than 60 nautical miles, and by 1902 he was able to transmit and receive signals over more than 1,500 miles.

The first radar-like device was patented by Christian Hülsmeyer in 1904, based on the published work of Hertz. Hülsmeyer’s device, called a “telemobiloscope,” transmitted pulses of EMR generated using a spark gap, and listened for its own back-scattered radiation, but was unable to directly measure the range to a given target (*e.g.* Wiesbeck *et al.* 2015).

Eighteen years later, electrical engineers Albert Taylor and Leo Young were testing wireless radio for the U.S. Navy, with the transmitter and receiver on opposite sides of the Potomac River. A wooden steamship, the *Dorchester*, sailed up the river, temporarily attenuating the signal strength at the receiver. Realizing that such a system could be used to remotely detect the presence of enemy vessels, they proposed establishing an "electromagnetic curtain" in the nation's coastal rivers and seaports (Rinehart 2004; Parry 2010).

The next year the Naval Research Laboratory was established with Taylor appointed the head of the radio division. In the early 1930s, Taylor and Young realized that a single antenna could be used as both transmitter and receiver, provided a "duplexer" (switch) was added to toggle the system between modes. (The same idea had also occurred to German and Russian engineers working on the same problem.) In 1934, they constructed a system that was able to detect the location of an aircraft at a distance of one mile. By 1937, Taylor, Young, and their team had developed a practical system for detecting aircraft from naval vessels (Parry 2010).

The term RADAR was first coined by the U.S. Navy in 1940 as an acronym for RAdio Detection And Ranging *or* Radio Direction And Ranging. The word "radar" has since entered English and other languages as a common noun, losing its capitalization (Lapedes 1976).

Prior to and during World War Two, radar was simultaneously under development in several countries (Rinehart 2004; Wiesbeck *et al.* 2015)[1]. These countries fell into several categories:

- The *Western Allies*, consisting of the United States, the United Kingdom, France, and Holland (although the latter two dropped out of the effort early in the war)
- The *Axis Powers*, consisting of Germany, Italy, and Japan.
- *Other countries*, including the Soviet Union, Australia, Canada, New Zealand, South Africa and Hungary.

In 1940, John Randall and Henry Boot, at the University of Birmingham (U.K.), invented the cavity magnetron transmitter tube (an improvement on an earlier design), making it possible to construct relatively light-weight radar devices, which could be mounted on trucks and operated at higher microwave frequencies, making them more accurate (Rinehart 2004). It also significantly increased the transmitted power of the radar at 10 cm wavelengths. Another type of transmitter tube, called a klystron, was invented in 1937 by Russell and Sigurd Varian (Pond 2004).

Also in 1940, J.W. Ryde of the General Electric Corporation Research Laboratory, in Wembly, England, investigated returned power from clouds and precipitation in radar displays, when backscattered EMR from weather targets was considered "clutter" (noise) that obscured the targets of interest (aircraft) (Rinehart 2004; Whiten *et al.* 1998). Weather clutter is visible in the right-hand image in Figure 1.

In 1944, the APQ-13 radar system was jointly developed by Bell Telephone Laboratories and the Massachusetts Institute of Technology (MIT), to help guide bombing and assist with aircraft navigation (Whiten *et al.* 1998). It was an X-band (~3 cm wavelength) radar, and highly sensitive to precipitation echoes. It was later adapted as an early ground-based weather radar, and a network of these systems was fielded as the first system for storm detection (Whiten *et al.* 1998; Swingle 1990). While it was replaced by the U.S. National Weather Service (then called the Weather Bureau) in 1946, it remained one of the U.S. Air Force's base weather radar systems until the AN/FPS-77 system was deployed in the 1960s. The last of these remained in operation until October, 1977 (Small 2005; Whiten *et al.* 1998). (See Figure 1.)

[1] A highly entertaining (and detailed) insider's story of radar development during the last years of WWII, written by J. Fletcher (a pilot and radar researcher of the period), can be found in Atlas (1990).

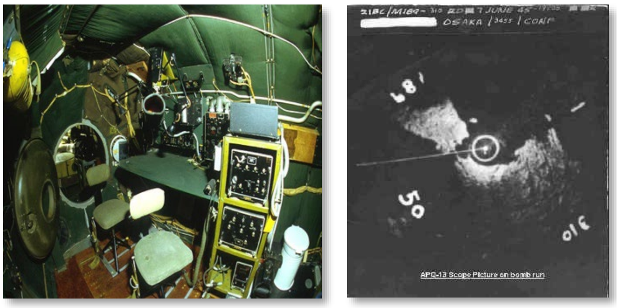


Figure 1. APQ-13 radar. Left: Display/control console. Right: Image from screen, recorded over Osaka, Japan, in 1945. (Credits: Small 2005.)

After World War Two, surplus radar equipment became available for experimentation by civilians. Studies conducted during the last three years of the war at MIT's Radiation Laboratory had determined that "weather" could be detected by C- and S-band radars out to a range of 150 miles (Whiten *et al.* 1998; Katz and Henry 1990). Work began to examine the kinds of information that could be extracted from what had previously been thought of as noise. (Meteorological radar bands and their associated wavelengths are summarized in Table 1.)

Table 1. Meteorological radars by band, wavelength, and frequency. Wavelength is often used by meteorologists, for easy size comparison to hydrometeors. Frequency is more commonly used by radar engineers. The lettered band designations (column 1) for these ranges of wavelength and frequency were originally created during WW II, and standardized by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) in the mid-1980s (Whiten *et al.* 1998).

Band	**Range of Wavelengths [cm]**	**Central Frequency [GHz]**
S	7.5 – 15	2.8
C	3.7 – 7.5	5.5
X	2.5 – 3.7	9.4

In 1946, the U.S. National Weather Service obtained 25 S-band AN/APS-2F radars from the U.S. Navy, and began modifying them for meteorological use. Modifications included equipping them with larger antennas, and adding a converter that allowed them to run on conventional power systems. The modified radars (the first of which was installed at Washington National Airport in 1947) were renamed WSR-1, WSR-1A, WSR-3, and WSR-4, depending on the year of deployment and minor variations in design (Whiten *et al.* 1998).

The first radar system specifically designed for weather purposes was the AN/CPS-9, in 1954, designed by the U.S. Army Signal Corp and built by Raytheon (which would later build the WSR-57 and the Federal Aviation Administration's Terminal Doppler Weather Radar). It was an X-band (3 cm wavelength) system, with a beamwidth of 1°, and transmitted pulses of both 5 μs and 0.5 μs in duration. The choice to make it an X-band, rather than an S-band (which is less prone to attenuation by precipitation), was made to make the overall system reasonably portable and to contain costs. The first was installed at Maxwell AFB, Alabama, in 1954, and the last remained in operation until 1984 (Small 2005; Whiten *et al.* 1998). (See Figure 2.)

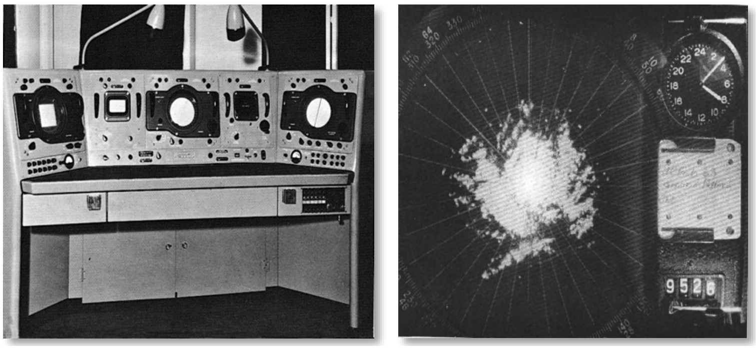


Figure 2. CPS-9 radar. Left: Display/control console. Right: Image from screen. (Credits: Small 2005; Whiten et al. 1998.)

A later generation of operational weather radar was called Weather Surveillance Radar 1957 (WSR-57), originally built by Raytheon in 1957 to track hurricanes for the U.S. National Hurricane Center in Miami, Florida. It remained the primary civilian weather radar system in the United States for more than 35 years. It was an S-band (10.3 cm wavelength) system, and had a beamwidth of 2°. It also had a backup power system, and a "repeater PPI display." The acronym PPI means Plan Position Indicator, which is the name given to a "plan view" display of reflectivity. The repeater was used for Polaroid or 35-mm photographs of the radar display. (Thousands of feet of film of these displays are available at the National Centers for Environmental Information.) The first of these systems was installed in Miami in June, 1959, and the last remained in use until December, 1996 (Small 2005; Whiten *et al.* 1998). (See Figure 3.)

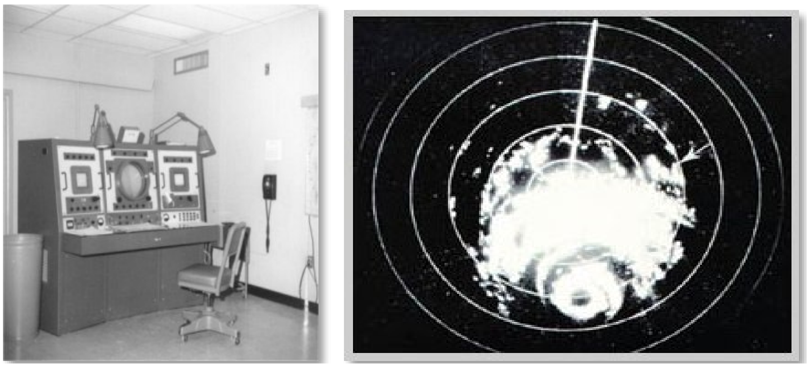


Figure 3. WSR-57 radar. Left: Display/control console. Right: Image from screen, showing Hurricane Carla, recorded by the WSR-57 in Galveston, Texas. The small arrow on the upper right shows the location of a tornado. (Credits: Small 2005.)

In the early days, the cost of purchasing a radar system made it prohibitively expensive for all except government agencies, but remote displays (such as the WSR-57's repeater PPI display) which showed output from an existing radar site were more affordable, and installed in airline weather centers (Whiten *et al.* 1998). By the 1960s, improvements in the manufacturing of all components of radar (transmitters, receivers, control systems and information displays), and the use of semiconductors, made them lightweight and affordable enough to be installed in non-government aircraft, such as commercial airliners. By the late 1960s, commercial television stations in different parts of the United States were purchasing their own small X-band radar systems, for use in weather broadcasts (Whiten *et al.* 1998).

The U.S. Air Force developed its own radar system in 1964, called the AN/FPS-77, to replace the aging fleet of AN/APQ-13s and CPS-9s. This system was a C-band radar (wavelength 5.4 cm), and remained in use through the 1980s. The first unit was installed at Griffiss AFB in New York State, in 1964, and by 1969, the network of more than 100 sites was nearly complete. Like all previous radar systems, it was analog and manually operated. Images were "painted" on a screen, and archived using a Polaroid camera (Small 2005; Whiten *et al.* 1998). (See Figure 4.)

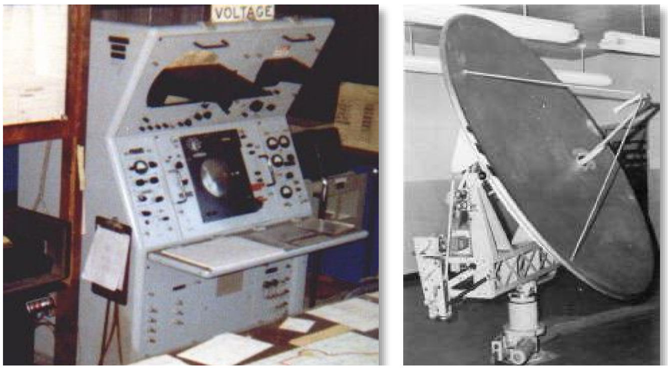


Figure 4. FPS-77 Radar. Left: Control/Display console. Right: Antenna. This radar was entirely manually operated and contained more than 200 vacuum tubes. The round screen at the bottom was used for creating plan-view images of reflectivity, called Plan-Position Indicator (PPI) images. The smaller screen to the upper left was used to create profile-view cross-sections of a reflectivity center, called Range Height Indicator (RHI) images. (Photo credit http://www.radartutorial.eu/19.kartei/11.ancient/karte166.en.html)

By the late 1970s, the United States weather radar network had become an uneven patchwork of several legacy systems. Some were quite old and unreliable, although the NWS had added a handful of newer systems (such as the WSR-74C and WSR-74S) to fill in the coverage gaps in the existing network. All required manual operation by a human technician, and none took advantage of advances in computer technology. Then, a spectacular series of unwarned convective events occurred during radar outages, resulting in loss of life and property damage, which motivated the U.S. government to commission an entirely new system.

The Present. In 1981, the Next-Generation Radar (NEXRAD) program office was established, and began coordination for the development and construction of the new Weather Surveillance Radar – 1988 Doppler (WSR-88D) network. In 1988, the first WSR-88D was delivered to Norman, OK, and by 1996, the network was fully installed (WDTB 2005). The WSR-88D system continues to be the primary operational weather radar network in the United States. A general description of the system includes:

- It is an S-band system, with a wavelength of 10.3 cm, and a transmitted power of 750 kW. It uses a klystron transmitter tube. The beam width is approximately 1°. The antenna operates in several "Volume Control Patterns" that systematically scan the three-dimensional volume of atmosphere around the radar site, out to a maximum distance of 252 nautical miles (about 465 kilometers). Its radial spatial resolution is about 250 meters.
- It is natively Doppler-capable, enabling the system to detect the radial velocity of a meteorological target. Previous systems did not have this ability.
- It is entirely digital and computer controlled. Human beings can send the radar system special commands, but these are still interpreted and carried out by computers.
- Data produced by the system are archived as digital data on computer storage media, and can be easily recalled using many different platforms.

Figure 5. WSR-88D Radar. Left: Typical computer-screen display (photo credit: https://www.researchgate.net/publication/267381624). Right: Antenna (photo credit: NOAA). This radar system is computer operated and consists mostly of solid-state components.

There are about 160 WSR-88D installations in the country and outlying U.S. territories (WDTB 2005). There are more than 135 in the CONUS alone. Locations of these installations are shown in Figures 6 and 7. The network is operated jointly by the U.S. National Weather Service (NWS), Federal Aviation Administration (FAA), and Department of Defense (DoD). Single- and composite-radar data are disseminated to users by the NEXRAD Imagery Dissemination System (NIDS), as well as via the Internet (Whiten *et al.* 1998).

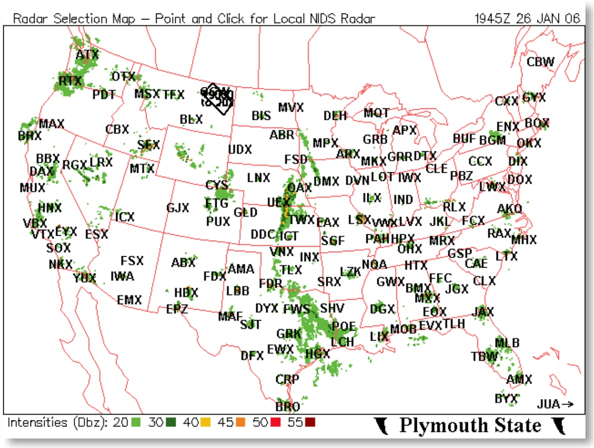


Figure 6. WSR-88D installations in the CONUS. Note that the station identified as "JUA" is located in San Juan, Puerto Rico, which is not shown on the map. (Image credit: Plymouth State University).

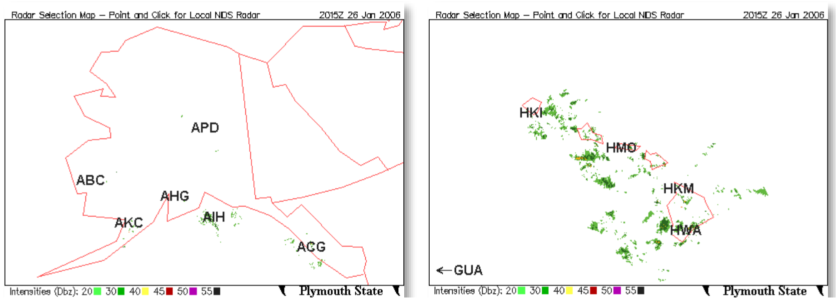


Figure 7. WSR-88D installations in Alaska and Hawai'i. The station indicated as "GUA" is Guam, not shown on the map. (Image credit: Plymouth State University).

In 2013, the entire WSR-88D network was retrofitted with linear-diagonal dual-polarization capability, enabling improved rainfall-rate estimates as well as better estimates of the *type* of hydrometeors inside a storm cell (rain, snow, graupel, etc.). The network is currently undergoing a Service Life Extension Program (SLEP) that will extend its lifetime through at least 2030 (ROC 2019).

The FAA Terminal Doppler Weather Radar (TDWR) is another U.S. operational weather radar system. Low-level wind shear near airports has caused or significantly contributed to the deaths of more than 1400 people worldwide. More than 400 fatalities in the United States resulting from this hazard occurred between 1973 and 1985 (NCAR 2019). In the late 1970s, research found that microbursts (intense downdrafts from the bases of thunderstorms) were responsible for the most hazardous forms of wind shear near airports (Figure 8). The radial spreading of cold air descending from the base of the thunderstorms causes sharp changes in airflow around aircraft wings. This work eventually led to the development of several wind shear detection systems, among them, the TDWR (NCAR 2019).

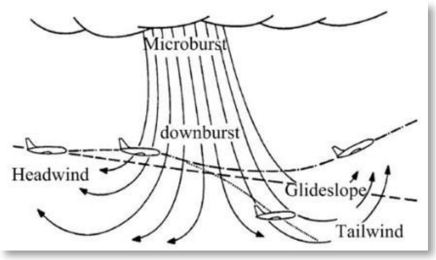


Figure 8. Schematic of thunderstorm downdraft (microburst) resulting in wind shear near an airport. (Credit: Sabzehparvar 2018.)

The TDWR network is a C-band (~5 cm), Doppler-capable radar system originally operated by the U.S. Federal Aviation Administration (FAA). Its primary purpose is detection of hazardous weather conditions within about 73 nautical miles (135 km) of airports, in locations where wind shear or thunderstorms are a regular threat to aviation. It was initially developed in the 1990s at MIT's Lincoln Laboratory for the purpose of real-time detection of wind shear. There were 45 TDWR installations operating in the United States in 2014 (NCEI 2019). These are shown in Figure 9.

Figure 9. TDWR locations in the CONUS. (Credit: https://en.wikipedia.org/wiki/Terminal_Doppler_Weather_Radar#media/File:Map_TDWR.svg)

The TDWR transmits at 250 kW (compared to the WSR-88D's peak of 750 kW) and has a beamwidth of ½ degree (compared to the WSR's 1-degree beamwidth). Its range resolution is 150 meters within 135 km of the antenna, and 300 meters between 135 km and 460 km from the antenna (compared to the WSR's 250-meter resolution). It uses two different Volume Control Patterns: One for routine surveillance and one for hazardous weather (Istok *et al.* ND; NCEI 2019).

In 2005, the U.S. National Weather Service began working with the FAA to combine the data produced by the TDWR network with the WSR-88D network. This included processing TDWR data into derived products very similar to those routinely produced by the WSRs, such as a Mesocyclone Detection Algorithm. The deployment of this upgrade to all 45 TDWRs was completed in 2008.

The Canadian operational weather radar network. The Canadian operational weather radar network currently consists of 31 installations stretching from the Pacific to Atlantic oceans, and located mostly in the southern half of its geographic area (Environment and Climate Change Canada 2019b). (See Figure 10.) The network provides radar coverage for more than 98 percent of the country's population (Meteorological Service of Canada 2019a). Until recently, most were C-band radars, with a maximum range of about 70 nautical miles (128 kilometers) for radial velocity, and 140 nautical miles (240 km) for reflectivity[2]. In 2011, following original approval in 1998, Environment and Climate Change Canada began a project to initially upgrade the existing C-band radars, and then replace all of them (while adding 12 more) with longer-range S-band radars similar to the WSR-88D. The project is expected to be complete by 2023. The new radars will all be natively dual-pol (Canadian Weather Radar Network 2019).

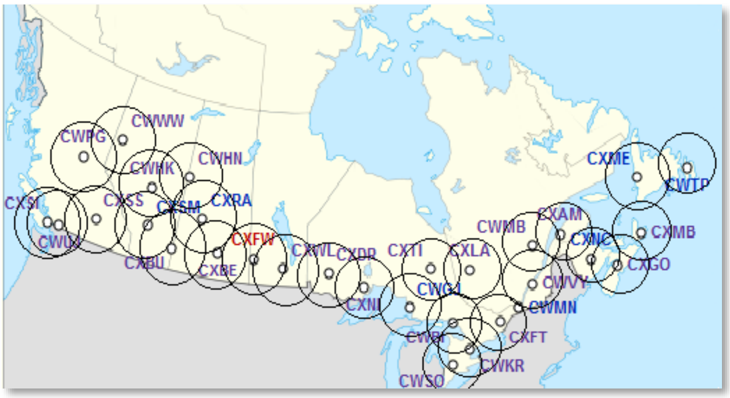


Figure 10. Canadian Weather Radar Network. (Image credit: Pierre cb, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=16128391)

The original C-band radars utilized two different scan strategies: A "conventional cycle" (for reflectivity) consisting of 24 tilts completed in five minutes, and a "Doppler cycle" (for radial velocity) consisting of four tilt angles (Joe and Lapczak 2002).

The new S-band systems operate at a frequency of 2.7 to 2.9 GHz (about 10 cm), with a peak transmitted power of 750 kW. The PRF is between 250 and 2000 pulses per second, consisting of both short (0.4 μs) and long (4.5 μs) Pulse Lengths. The beamwidth is on the order of 1°. The antenna rotates at a maximum speed of 6 revolutions per minute, and is 8.5 meters in diameter. The Volume Control Pattern

[2] The exception was a Doppler-enabled, dual-pol S-band system at McGill University, in Montreal, Quebec, that was used both operationally and for research (McGill JS Marshall Observatory 2019). A newer system has since replaced the original McGill system, in Blainville, outside Montreal.

includes 17 tilts, scanned in six minutes. The maximum range for reflectivity volume scans is 162 nautical miles (300 km), and for radial velocity volume scans is 130 nautical miles (240 km). All of these specifications are nearly identical to those of the WSR-88D system. Figure 11 shows an example of one of the new S-band systems, in Blainville, Quebec (Canadian Weather Radar Network 2019).

Figure 11. S-band weather radar in Blainville, Quebec. (Credit: Canadian Weather Radar Network 2019

The Future. The next major development in radar technology is called phased array. The concept of array antennas was invented during World War II. There are several methods for steering these antennas without using mechanical turntables and tilt mechanisms, and the first electronically-steered radar was the FuMG 41/42 Mammut-1, built in Germany in 1944 (Fenn *et al.* 2000; Wiesback *et al.* 2015). In the 1950s, a method called "phasing" was introduced, vastly increasing the speed with which the beam could be pointed.

In 1958, MIT's Lincoln Laboratory began working on phased array radars. The initial motivation was for tracking satellites, inspired by the successful launch of the world's first artificial satellite, *Sputnik 1*, by the Soviet Union the previous year. Early MIT designs used a combination of mechanical and electronic beam-steering, but the U.S. Air Force insisted on fully electronic steering to maximize the ability to track ballistic missiles (Fenn *et al.* 2000). In 1959, the President's Science Advisory Committee determined that a credible ballistic missile defense required the ability to track a large number of objects moving at high velocity. The Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA, an agency of the United States Department of Defense) funded research for the design and construction of two-dimensional, entirely solid-state radar array steered by computer. DARPA called this the Electronically-Steered Array Radar (ESAR) program, which, in 1960, resulted in the construction of ground-based radar system by Bendix Corporation (Figure 12). Additional military phased array radars were built throughout the 1960s and 1970s by Bendix, Raytheon and others, including the AN/FPS-85, which could detect and track ballistic missiles and Earth-orbiting objects at ranges of several thousand miles. Some of these systems are still in service today (DARPA 2019; Fenn *et al.* 2000).

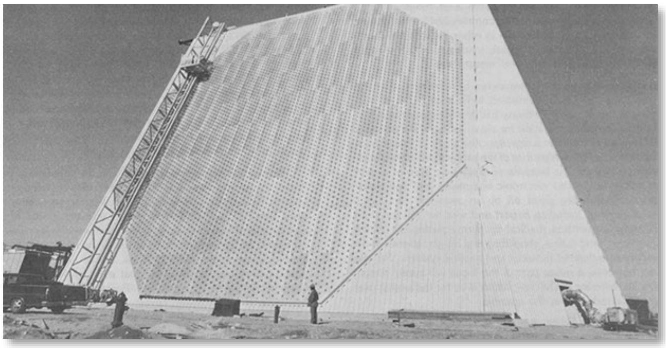


Figure 12. ESAR ground-based phased array radar. This system was originally developed by the U.S. government for military use. Phased array radar was initially a stationary ground-based system, but some types were also deployed on naval vessels beginning in 1973. (Credit: DARPA 2019.)

In the 1980s, Lincoln Laboratories worked with the U.S. Air Force and the U.S. Navy to develop fully-integrated, low-cost, compact Receiver-Transmitter Modules (RTMs), based on gallium arsenide digital circuitry. An RTM is a small printed circuit board in a chassis. To create an array, several of these are mounted on a flat panel. Both General Electric and Raytheon produced several versions of these RTMs (Fenn *et al.* 2000).

Civilian meteorological applications of phased array radar in the United States began when the Navy loaned one of its older, ship-mounted systems, called a SPY-1A, to NOAA for research into non-military uses of the device (see Figure 13). The SPY-1A antenna had 4352 receiver-transmitter elements, and rested on a turntable (Heinselman *et al.* 2008; Heinselman and Torres 2011). It was capable of scanning a 90-degree wide azimuthal range in one minute or less without moving the turntable (Heinselman *et al.* 2008; Heinselman and Torres 2011). The research into its civilian uses was accomplished at the National Weather Radar Testbed (NWRT) in Norman, Oklahoma, which began operations in 2003. Because it was capable of performing several functions at the same time, it was called Multi-function Phased Array Radar (MPAR).

A descendant of this original antenna is still being used to develop the physical components of the system and the computer algorithms that will enable it, at the NWRT. And the United States is not the only country developing civil MPAR technology. For example, Wada *et al.* (2016) and Mizutani *et al.* (2018) describe the development and fielding of MPAR systems in Japan. Meischner *et al.* (1997) describe European research into phased array and other advanced weather radar systems.

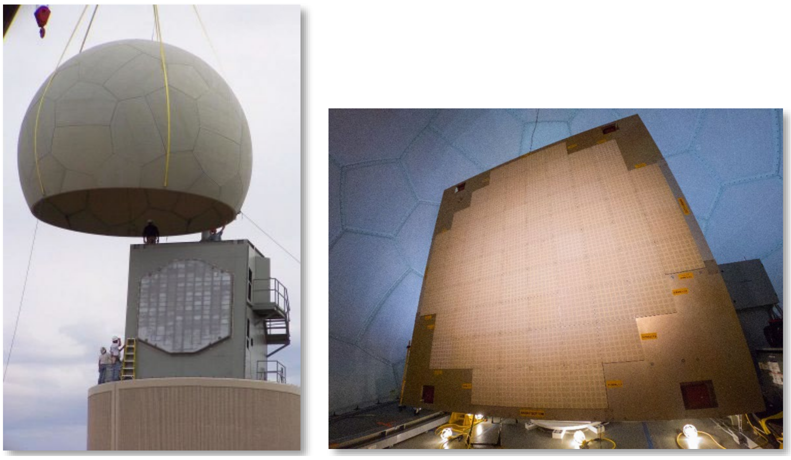


Figure 13. Phased array radar antennas. Left: Original MPAR installation at NSSL (Photo credit: Dr. Sebastian Torres, NOAA/NSSL). Right: ATD flat panel antenna (Photo credit: NOAA/NSSL).

Simultaneous functions include rapid updates to developing weather systems (such as severe convective storms) – resulting in greater warning lead times, conventional volume scans that can be completed in less than a minute – with improved clutter cancellation, and air traffic monitoring (Forsyth *et al.* N.D.). This means that descendants of the NWRT's MPAR can replace not only the current network of WSR-88Ds, but the TDWR, Air Surveillance Radar (ASR), and (long-range) Air Route Surveillance Radar (ARSR) networks as well (NOAA/NSSL 2014). In total, this is about 550 radar installations, and each of the four member systems has its own management, maintenance, training, and supply logistics programs. MPAR will replace them all with only about 335 installations, which is projected to result in a cost savings of close to five billion USD over 30 years (OFCM 2006; Weber *et al.* 2007).

The design concept for the completed system is described in Weber *et al.* (2005) and Weber *et al.* (2007): The final version of the phased array will consist of four planar active arrays (a cube), with each face containing 20,000 RTMs in a circular area 8 meters in diameter. There are no magnetron or klystron transmitter tubes, nor are there turntables or tilt-angle mechanisms to point the antenna. Pointing the radar beam is accomplished by selective use of phase shifting. The current to each RTM passes through a phase shifter controlled by a computer. The individual electromagnetic wavefronts from each RTM are spherical, but they combine in front of the antenna array to create a plane wave – a beam of radio waves travelling in a specific direction. The phase shifters delay the emission of radio waves progressively along a line of RTMs so that each one emits its wavefront later than the one before it. This causes the resulting plane wave to be directed at an angle to the antenna's axis. By changing the phase shifts, the computer can instantly change the angle of the beam.

Each RTM has a peak transmitted power of 10 watts. With 20,000 RTMs on a side, this is 200 kW on each face of the installation, or 800 kW over all four faces of the cube, comparable to the WSR-88D's 750 kW peak transmitted power. If one RTM fails, it can be easily replaced without shutting down the entire system (OFCM 2006; Weber *et al.* 2008). Pulse Length varies between 1 and 10 µs. The beamwidth varies between 0.7°, along a line perpendicular to one face of the array, widening to 1°, at a 45-degree angle from the same line (Weber *et al.* 2007).

The system operates in the S-band range, transmitting at three different wavelengths (channels), all near 10 cm. One channel is devoted to aircraft surveillance, one to routine weather volume scans, and the last for "features of special interest," such as unidentified aircraft and severe weather. Up to 160 beams can be formed from ensembles of RTMs at the same time, by allocating small groups of RTMs to carry out each individual task (Figure 14). For example, one set of RTMs may be designated to monitor aircraft arrivals and departures at a nearby airport, while another may be carrying out routine weather surveillance of the entire region. A third set may be continuously monitoring a severe thunderstorm cell more than a hundred kilometers away (OFCM 2006; Weber *et al.* 2007; Weber *et al.* 2008).

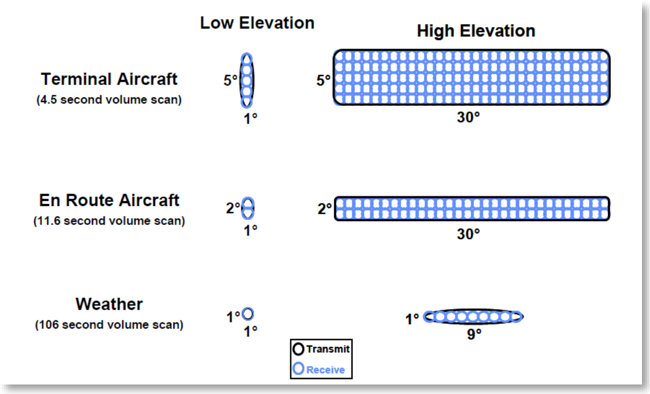


Figure 14. Notional beam patterns for multifunction radar surveillance modes. Cellular objects are RTMs. (Image credit: Weber *et al.* 2008.)

In 2016, the original Navy SPY-1A antenna was replaced by the dual-pol capable Advanced Technology Demonstrator (ATD), a newer phased array flat panel antenna developed by the MIT Lincoln Laboratory (NSSL 2005; Conway *et al.* 2018). Recall that the WSR-88D was retrofitted to transmit linearly-polarized pulses along a diagonal; the final version of the phased array radar may generate dual-pol products by the same means, or it may include a switch that alternates back and forth between horizontally- and vertically-polarized pulses. The former is less expensive, but the latter opens up possibilities for a wider range of dual-pol derived products.

Incorporating phased array radar observations into operational meteorology. When this author first entered the weather career field, while serving in the U.S. Air Force in the early 1980s, one of the main limiting factors to forecasting was the shortage of high-resolution, rapidly-updated data. Radar data, for example, were manually updated about once each hour, transmitted by remote terminal to a central computer, combined with other data from radar stations, and transmitted back out to the field as a "summary" via facsimile. Observations were typically recorded at 35 minutes past the hour, and the corresponding graphical summary would arrive in a weather office about 20 minutes later. Often, there wasn't enough base radar information to maintain a comfortable level of "situational awareness."

Today, the opposite is true. Satellite data are available in 16 channels (rather than the three that were available in 1982), updated as often as once every five minutes. Radar data update once every four or five minutes and now consist of many more datatypes that the simple reflectivity that was available 35 years ago. There are far more surface observations with higher temporal frequency, and the numerical models (of which there are more now) are far more sophisticated and varied, and update more often. Our problem now is not a *lack* of sufficient data, but data *overload*. To an operational forecaster working in the field today, the challenge is often deciding what to leave out, rather than the scramble to find more information. Already, the workload in an NWS Weather Forecast Office can push an individual's cognitive load right up to the point of exhaustion. As phased array radar transitions from research to operational meteorology, we will have to cope with denser volume updates (containing scans at more tilt angles), arriving as often as once every minute.

Wilson *et al.* (2017) considered the impacts of MPAR on operational weather forecasters and their warning decision process, when using 1-, 2-, and 5-min volume updates. Thirty NWS forecasters with an average of 12 years experience, from 25 forecast offices in the U.S. Great Plains region, spent a week working with simulations of rapidly updating volume scan data during the 2015 Phased Array Radar Innovative Sensing Experiment (PARISE). The work was spread out over six weeks, with a subset of the forecasters working a given week based on their availability.

During the week, forecasters worked with data from a series of nine different events: Three were "null" events, three were severe hail and/or wind events, and three were potentially tornadic events. The length of the simulations varied from 19 minutes to slightly longer than an hour. The forecasters were asked to independently interrogate base moments generated by the MPAR in simulated real-time, and issue warnings as they considered necessary. For each of the nine simulations, some forecasters received the 1-minute updates, some the 2-minute updates, and some the 5-minute updates. At the end of the experiment, participants were interviewed in open discussion groups, where they discussed their experiences and made several suggestions (Wilson *et al.* 2017).
Focusing on the 1-min data, the forecasters made positive comments about being able to view storm-scale evolution at a resolution not possible with the WSR-88D. They also stated that they became accustomed to the rapid updates very quickly, although about a third reported initially feeling overwhelmed by the volume of data. This feeling resulted from trying to view *all* base data types at *all* tilts as each of the 1-min updates was received, and they quickly realized that they had to begin limiting the types of information they took in with each update. This "mental filter" was applied differently, depending on the type of event, but was most necessary during a potentially tornadic event, when some of the forecasters settled into closely monitoring the radial velocity reported on the ½ degree elevation angle (Wilson *et al.* 2017).
The consensus among the forecasters participating in PARISE was that the 1-minute data was preferable to the 2-minute and 5-minute MPAR data, in spite of the increased workload. Several of the participants suggested the development of new algorithms that could perform some basic calculations with each update, such as changes in reflectivity cores. Wilson *et al.* (2017) also state that the increased amount of volume data will require the staff of NWS Weather Forecast Offices to redistribute responsibilities during severe weather events – particularly tornadic events – with more individuals involved in evaluating the incoming radar data.

Impact of high-temporal resolution radar updates on warnings and short-term modeling. Computer algorithms can be developed to assist with some of the data evaluation, and help reduce the cognitive load on human weather forecasters. This is the motivation behind derived products, such as the Mesocyclone Detection Algorithm, which identifies rotation in thunderstorms, and alerts the forecaster with overlaid graphical symbols. The forecaster is still responsible for acting on the information, but the computer program has helped by identifying the potential trouble areas. Another tool that could be helpful is a system that ingests radar data, and uses it (along with output from large-scale models) to make short-term, storm-scale forecasts.
Supinie *et al.* (2017) discuss the use of rapid-scan MPAR data in storm-scale numerical weather prediction (NWP), and how this supports the National Weather Service's Warn-on-Forecast (WoF) program, which is working toward including storm-scale NWP in the warning decision process[3].
In simulations, Yussouf and Stensrud (2010), and Xue *et al.* (2006) showed that fifteen minutes worth of 1-min radar volume scans incorporated into a storm-scale NWP model is enough to significantly shorten the time required to obtain a good analysis of a particular convective storm, and, therefore, increase the lead-time of a severe weather warning.

[3] Currently, the National Weather Service does not issue warnings for severe weather (such as tornadoes and severe thunderstorms) until there is a clear radar image of the phenomenon, or the hazard is seen by a spotter. This provides an average of about 13 minutes lead time before a tornado strikes. This is often not enough to reduce loss of life. The Warn-on-Forecast program is working to combine surface, satellite, and radar data into an ideal set of initial conditions for high-resolution (local-scale) computer models that will predict severe weather up to an hour in advance. For more, see https://www.nssl.noaa.gov/news/factsheets/WoF_2015.pdf.

Supinie *et al.* (2017) set out to evaluate and compare the impact of assimilating (1) rapid-scan MPAR reflectivity and radial velocity data, and (2) conventional WSR-88D scans of the same datatypes for a tornadic supercell in Oklahoma, during May, 2011. The radar data from the two types of installations were assimilated into separate storm-scale NWP models once every five minutes, for a 45-minute assimilation period, and 1-hr ensemble forecasts were started after 15, 30, and 45 minutes of radar data assimilation. Root-Mean Square Error (RMSE) and other bulk statistics were then computed by comparing model forecasts of the storm cell with observations of the cell corresponding to the same point in time. Their results indicate that the model forecasts using the MPAR data showed improved skill over those based on the WSR-88D data, particularly for the ensembles started after 15 and 30 minutes of data assimilation. And they attribute the improvement to (1) the greater number of elevation angles possible with the MPAR system, and (2) the MPAR's greater temporal resolution.
Within the context of WoF, a hypothetical real-time prediction system would require 12 or more volume scans that include the storm of interest. For the WSR-88D, this implies nearly an hour's worth of data, but with the MPAR, this could be reduced to as little as 15 minutes. This in turn implies adding at least 30 minutes to lead-times for warnings of severe convective events (Supinie *et al.* 2017).

ACKNOWLEDGMENT
The text of this paper is closely based on Miller *et al.* (2020). Miller wishes to acknowledge the contributions of his co-authors to the base publication.

REFERENCES

Atlas, D. (ed.), 1990: Radar in Meteorology, American Meteorological Society, 806 pgs.

Canadian Weather Radar Network, 2019: Accessed 2019. [Available on-line at https://en.wikipedia.org/wiki/Canadian_weather_radar_network and ipfs.io/ipfs/QmXoypizFiJnKLwHCnL72vedxjGDDP1mXWo6uco/wiki/Canadian_weather_radar_network.html]

Conway, M., D. Du Russel, A. Morris, and C. Perry, 2018: Multifunction phased array radar advanced technology demonstrator nearfield test results, *2018 IEEE Radar Conference (RadarConf18)*, accessed April 2019. [Available on-line at http://ieeeplore.ieee.org/document/8378771]

Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), 2019: Phased array radar, accessed May, 2019. [Available on-line at https://www.darpa.mil/about-us/timeline/phased-arrays]

Environment and Climate Change Canada, 2019a: Backgrounder – Weather Monitoring Infrastructure, accessed May 2019. [Available on-line at http://www.ec.gc.ca/default.asp?lang=En&n=592AB94B-1&news=06F87DOA-4ECO-41F2-99EE-7298555FCEA65]

Environment and Climate Change Canada, 2019b: Canadian Weather Radar, accessed May, 2019. [Available on-line at http://weather.gc.ca/radar/index_e.html]

Fenn, A., D. Temme, W. Delaney, and W. Courtney, 2000: The development of phased-array radar technology, *Lincoln Laboratory Journal*, **12** (2), 321 – 340.

Forsyth, D., J. Kimpel, D. Zrnic, S. Sandgathe, F. Pfeil, J. Heimmer, T. McNellis, J. Crain, A. Shapiro, J. Belville, and W. Brenner, N.D.: The National Weather Radar Testbed (Phased-Array), accessed May, 2019. [Available on-line at https://www.researchgate.net/publication/238108994_BUILDING_THE_NATIONAL_WEATHER_RADAR_TESTBED_PHASED-ARRAY]

Heinselman, P., D. Priegnitz, K. Manross, T. Smith, and R. Adams, 2008: Rapid sampling of severe storms by the National Weather Radar Testbed Phased-Array Radar, *Weather and Forecasting*, **23**, 808 – 824.

Heinselman, P., and S. Torres, 2011: High-temporal resolution capabilities of the National Weather Radar Testbed Phased-Array Radar, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **50**, 579 – 593.

Houdas, Y., 1991: Doppler, Buys-Ballot, Fizeau. Historical note on the discovery of the Doppler's Effect, *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie*, **40** (4), pp. 209 – 213.

Istok, M., W. Blanchard, T. Granger, and A. Stern, ND: Radar information enhancements for the NWS operational user, accessed May, 2019. [Available on-line at https://ams.confex.com/ams/pdfpapers.71169.pdf]

Joe, P., and S. Lapczak, 2002: Evolution of the Canadian Operational Radar Network, *Proceedings, 2nd European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD)*, 370 – 382.

Katz, T., and P. Henry, 1990: Radar Meteorology at Radiation Laboratory, MIT, 1941 – 1947, in Atlas, D. (ed.), Radar in Meteorology, 16 – 21.

Lapedes, D. (Ed.), 1976: McGraw-Hill dictionary of scientific and technical terms, McGraw-Hill, 1634, A26 p.

Maxwell, J., 1865: A dynamical theory of the electromagnetic field, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 155: 459 – 512. [Available on-line at https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstl.1865.0008]

McGill JS Marshall Radar Observatory, 2019: McGill S-band radar, accessed May 2019. [Available on-line at http://www.radar.mcgill.ca/facilities/mcgill-radar.html]

Meischner, P, C. Collier, A. Illingworth, J. Joss, and W. Randeu, 1997: Advanced weather radar systems in Europe: The COST 75 action, Bulletin of the American Meteorological Society, **78** (7), 1411 – 1430.

Meteorological Service of Canada, 2019: That National Radar Program, accessed May, 2019. [Available on-line at https://web.archive.org/web/20060615050828/http://www.msc-smc.ec.gc.ca/projects/nrp/index_e.cfm]

Miller, S.T.K., S. Baron, J. Cordeira, C. Hohman, A. Jacques, P. Johnston, P. Poyner, B. Rand, A. Small, and D. St. Jean, 2020: Applied Radar Meteorology, Academx Publishing Services (Open Educational Resource), 343 pgs.

Mizutani, F., T. Ushio, W. Yoshikawa, S. Shimamura, H. Kikuchi, M. Wada, S. Satoh, and T. Iguchi, 2018: Fast-scanning phased-array weather radar with angular imaging technique, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **56** (5), 2664 – 2673.

National Centers for Atmospheric Research (NCAR), 2019: Wind shear detection and alerting, accessed April, 2019. [Available on-line at ral.ucar.edu/sites/default/files/public/media/files/wind-shear-broch-2018-08.pdf]

National Centers for Environmental Information (NCEI), 2019: Terminal Doppler Weather Radar – Supplemental Product Generator (TDWR-SPG), accessed April, 2019. [Available on-line at www.ncdc.noaa.gov/data-access/radar-data/tdwr]

National Severe Storms Laboratory (NSSL), 2005: New radar technology can increase tornado warning lead times, accessed April, 2019. [Available on-line at http://web.archive.org/web/20060509134036/http://www.norman.noaa.gov/publicaffairs/backgrounders/backgrounder_par.html]

NOAA/NSSL, 2014: Multi-function Phased Array Radar and Cylindrical Polarized Phased Array Radar, accessed May, 2019. [Available on-line at https://www.ofcm.gov/groups/MPAR/references/Final/%20MPAR%20Congressional%20Report%20FY14.pdf]

O'Connor, J., and E. Robertson, 2007: Heinrich Rudolf Hertz, accessed May, 2019. [Available on-line at http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Hertz_Heinrich.html]

Office of the Federal Coordinator of Meteorological Services and Supporting Research (OFCM), 2006: Research and development for multi-function phased array radar (MPAR), FCM-R25-2006, Silver Springs, Maryland.

Parry, D., 2010: NRL History – November 1930, News Releases from the U.S. Naval Research Laboratory, U.S. Naval Research Laboratory, accessed May, 2019. [Available on-line at https://www.nrl.navy.mil/news/releases/nrl-history-november-1930]

Pond, IN., 2004: The Tube Guys, *Russ Cochran (pub.)*, 447 pgs.

Radar Operations Center (ROC), 2019: WSR-88D Service Life Extension Program, accessed May 2019. [Available on-line at https://www.roc.noaa.gov/WSR88D/SLEP/SLEP.aspx]

Radartutorial.eu, 2019: Overview of radar transmitter, accessed May 2019. [Available on-line at http://www.radartutorial.eu/08.transmitters/Radar%20Transmitter.en.html]

Rinehart, R., 2004: Radar for Meteorologists, 4th Ed. Rinehart Publications, 482 pgs.

Sabzehparvar, M., 2018: Dynamic response of the aircraft to wind shear using multi-points loading approach, *Archive of Mechanical Engineering*, **18** (2), 243 – 252.

Small, A., 2005: A Brief History of Radar Meteorology, semester project, Radar Meteorology, Plymouth State University.

Supinie, T., N. Yussouf, Y. Jung, M. Xue J. Cheng, and S. Wang 2017: Comparison of the analysis and forecasts of a tornadic supercell storm from assimilating phased-array radar and WSR-88D observations, *Weather and Forecasting*, **32**, 1379 – 1401, DOI: 10.1175/WAF-D-16-0159.1.

Swingle, D., 1990: Weather Radar in the United States Army's Fort Monmouth Laboratories, in Atlas, D. (ed.), Radar in Meteorology, 7 – 15.

Wada, M., H. Yonekubo, T. Ushio, S. Satoh, A. Adachi, and S. Tsuchiya, 2016: Development of phased-array weather radar: Field trial, dual-pol, and how it reduces disaster, accessed May 2019. [Available on-line at https://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/ION-125_TECO_2016/Session_2/K2A_Wada_Toshiba.pdf]

Warning Decision Training Branch, 2005: Distance Learning Operations Course (DLOC).

Weber, M, J. Cho, J. Herd, and M. Vai, 2005: Multi-function phased array radar for U.S. civil-sector surveillance needs, Preprints, *32nd Conference on Radar Meteorology*, Albuquerque, NM, American Meteorological Society, CD-ROM, 12R.2.

Weber, M., J. Cho, J. Herd, J. Flavin, W. Benner, and G. Torok, 2007: The next-generation multimission U.S. surveillance radar network, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **88**, 1739 – 1752, DOI: 10.1175/BAMS-88-11-1739.

Weber, M., J. Cho, J. Flavin, J. Herd, and Michael V., 2008: Multi-function phased array radar for U.S. civil-sector surveillance needs, Federal Aviation Administration under Air Force Contract FA8721-05-C-0002.

Whiten, R., P. Smith, S. Bigler, K. Wilk, and A. Harbuck, 1990: History of operational use of weather radar by U.S. weather services, Part I: The Pre-NEXRAD era, *Weather and Forecasting*, 13, pp. 219 – 243.

Wiesbeck, W., S. Leen, M. Younis, G. Krieger, and A. Moriera, 2015: Radar 2020: The Future of Radar Systems, *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2015*, Milano, Italy. [Available on-line at https://www.researchgate.net/publications/272027572]

Wilson, K., P. Heinselman, and C. Kuster, 2017: Considerations for phased-array radar data use within the National Weather Service, *Weather and Forecasting*, **32**, 1959 – 1965, DOI: 10.1175/WAF-D-17-0084.1.

Xue, M., M. Tong, and K. Droegemeier, 2006: An OSSE framework based on ensemble square-root Kalman filter for evaluating impact of data from radar networks on thunderstorm analysis and forecast, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **23**, 46 -66, doi: 10.1175/JTECH1835.1.

Yussouf, N., and D. Stensrud, 2010: Impact of phased-array radar observations over a short assimilation period: Observing system simulation experiments using an ensemble Kalman filter, *Monthly Weather Review*, **140**, 562 – 587, doi: 10.1175/MWR-D-10-05074.1.

Hail from Space

Sante LAVIOLA
Invited Speaker

National Research Council of Italy (CNR) – Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC), Bologna, Italy
S.Laviola@isac.cnr.it

ABSTRACT

The detection of hail clouds from space is one of the key topics of the satellite remote sensing. This is due to the high difficulty in recognising hail-bearing convection and distinguishing hail clusters from other ice particles usually forming during deep convections. In this invited speech, a new method for hail detection from the GPM Constellation will be presented. Recently published, the probability-based model (MWCC-H) originally designed for AMSU-B/MHS (Laviola et al, 2020a-b) has been fitted to the observations of all MHS-like radiometers onboard the satellites of the GPM constellation. All MHS-like frequency channels in the 150-170 GHz frequency range were adjusted on the MHS channel 2 (157 GHz) in order to account for the instrumental differences and tune the original model on the MHS-like technical characteristics. The novelty of this approach offers the potential of retrieving a uniform and homogeneous hail dataset on the global scale. The application of the hail detection model to the entire GPM constellation demonstrates the high potential of this generalized model to map the evolution of hail-bearing systems at very high temporal rate. This currently offers a useful tool for nowcasting application of severe convections. Further ongoing experiments are also demonstrating the potentiality of the MWCC-H to the future generation of microwave sensors developed in the EUMETSAT Polar System-Second Generation (EPS-SG) programme. Our tests on the MWS data allowed to calculate a primary dataset of level 2 products in terms of instantaneous precipitation through the 183-WSL algorithm (Laviola et al., 2011; 2013) and cloud and hail products using the MWCC-H.

Keywords: AMSU, hail, PMW, remote sensing.

References

Laviola S., V. Levizzani, R. R. Ferraro, and J. Beauchamp: Hailstorm Detection by Satellite Microwave Radiometers. Remote Sens. 2020a, 12(4), 621; https://doi.org/10.3390/rs12040621

Laviola S., G. Monte, V. Levizzani, R. R. Ferraro, and J. Beauchamp: A new method for hail detection from the GPM constellation. A prospective for a global hailstorm climatology. Remote Sens. 2020b, 12(21), 3553; https://doi.org/10.3390/rs12213553

Laviola S., G. Monte, V. Levizzani: Hail climatology in the Mediterranean basin from the GPM constellation. A new chance for identifying small-scaled climatic hotspots. Remote Sens. 2021. Submitted

Landsat Uydu Verileri ile Su Kalitesi Araştırması: "*Minnesota (ABD) Gölleri Örneği*"

Semih EKERCİN[1] ve Marvin BAUER[2]
Invited Speaker

[1]Necmettin Erbakan Üniversitesi, Harita Mühendisliği Böl., 42090, KONYA
semih.ekercin@erbakan.edu.tr
[2] University of Minnesota, Remote Sensing and Geospatial Analysis Lab., Twin Cities, 55108, MN

ÖZET

Bu çalışma Amerika'nın "Göller Bölgesi" olarak bilinen Minnesota Eyaletindeki sulak alanlardaki su kalitesinin çok spektrumlu Landsat-5 TM uydu görüntüleri ve yersel ölçmeler ile belirlenmesini içermektedir. Çalışmada, 20 adet tam çerçeve Landsat-5 uydu görüntüsü ve uydunun üst geçişiyle eş-zamanlı olarak elde edilmiş yaklaşık 23500 adet yersel veri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri USGS (United States Geological Survey) veri arşivinden elde edilmiştir. Yersel ölçmeler ise gönüllüler tarafından eyalet genelinde sürekli olarak yapılan ölçme sonuçlarından alınmıştır. Görüntü işleme aşamasında, geometrik düzeltme, görüntü mozaikleme, görüntü sınıflandırma, otomatik sayısallaştırma ve maskeleme işlemleri uygulanmıştır. Çalışmanın görüntü işleme, modelleme ve görselleştirme aşamalarında ERDAS ve ArcGIS yazılımları kullanılmıştır. Su kalitesi parametresi (Seki disk derinliği) ve radyometik olarak düzeltilmiş Landsat-5 TM uydu görüntü verisi arasındaki ilişkinin belirlenmesi için çok regresyon tekniği kullanılmıştır. Elde edilen ve doğrulanan sonuçlar, su kalitesi derinliğine ait ölçülen ve tahmin edilen değerlerin yüksek derecede ilişkili olduğunu göstermektedir (R^2>0.80). Çok spektrumlu Landsat-5 TM uydu görüntülerinden elde edilen tematik sonuç görüntüleri (su kalitesi haritaları), su kalitesi parametresinin uzaysal dağılımını göstermektedir. Sonuçlar, su kalitesinin Eyaletin güney bölgelerinde daha düşük olduğunu göstermektedir. Landsat verilerinin geniş kaplama (yaklaşık 180x180km^2) alanı önemli bir avantaj sağlamıştır. Elde edilen bir diğer sonuç ise sulak alanın coğrafi dokusunun su kalitesini doğrudan etkilediği şeklindedir.

Anahtar Kelimeler: Landsat, su kalitesi, uzaktan algılama.

Advances in Determining Snow Parameters from Satellite to Unmanned Aerial Vehicles (UAV)

Uydudan İnsansız Hava Araçlarına (IHA) Kar Parametrelerinin Belirlenmesindeki Gelişmeler

Zuhal AKYÜREK
Invited Speaker

ODTU İnşaat Müh. Su Kaynakları Lab.
ODTU Jeodezi ve Coğrafi, Bilgi Teknolojileri
zakyurek@metu.edu.tr

ÖZET

İlkbahar akımları enerji üretimi, içme suyu temini ve tarımsal sulama gibi suya bağlı faaliyetlere önemli bir su kaynağı olarak katkı sunmaktadır. Bu akımlarının önemli bir kısmı mevsimsel karın erimesi ile ortaya çıkmaktadır. Kar kaplı alanlar hava tahmin modelleri için de önemli bir sınır koşuludur. Bu nedenle kar parametrelerinin izlenmesi ve ölçülmesi erime sezonundaki akım tahmini, hava tahmin modellerinin başarısı için önem taşımaktadır. Kar kaplı alan ve karsu eşdeğeri kar erimesi ile oluşacak akımın belirlenmesinde önemli iki parametredir. Geleneksel yöntemler ile nokta bazında elde edilen kar derinliği ve karsu eşdeğeri ölçümleri karın katmanlaşmasından ve zorlu arazi koşullarından dolayı zaman alıcı ve kısıtlayıcı olmaktadır. Uydu görüntüleri ile kar parametrelerinin belirlenmesi ve izlenmesi mümkündür. Kar özellikle görünür ve yakın kızıl ötesi dalga boyunda yüksek yansıma (albedo) özelliğine sahiptir. Gerek yerdurağan, gerekse kutup yörüngeli uyduların özelliklerindeki gelişmeler, operasyonel yakın gerçek zamanlı kar kaplı ürünlerin servis edilmesini sağlamaktadır. Uydulardan alınan verinin mekansal, zamansal ve spektral özellikleri dikkate alınarak elde edilen kar kaplı alan ve karsu eşdeğer bilgisinin özellikleri değişmektedir. Kar kütlesinin tutabildiği su miktarını gösteren karsu eşdeğerinin pasif mikrodalga uydu görüntülerinden elde edilmesi mümkündür. Ancak bu yöntemin düşük mekânsal çözünürlük ve hava koşullarına bağlılık gibi kısıtları mevcuttur. Bu çalışmada kar parametrelerinin uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilmesi konularındaki gelişmeler sunulmaktadır. MSG-SEVIRI, Metop/AVHRR, MODIS-Terra/Aqua, Landsat TM, Sentinel 2 gibi uydulardan elde edilen kar kaplı alan bilgisi yanında insansiz hava araçları ile elde edilen kar kaplı alan ve kar derinlik bilgisinin sağladığı özellikler tartışılmaktadır. Büyük ölçekli çalışmalar için karsu eşdeğerinin elde edilmesinde yer radarının kullanımı konusundaki gelişmeler sunulmaktadır.

***Anahtar Kelimeler**:* Kar kaplı alan, karsu eşdeğeri, optic uzaktan algılama, mikrodalga, IHA.

Analysis of Muğla Radar Rainfall Estimate Errors with L_2 ve L_∞ Norms

Arzu ÖZKAYA[1], A. Egemen YILMAZ[2]
[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi
[2]Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi
aozkaya@ybu.edu.tr; aeyilmaz@eng.ankara.edu.tr

ABSTRACT

With the developing technology, due to their great coverage in real-time and high spatio-temporal resolution, weather radar-based rainfall datasets are frequently used in hydrological models that predict floods. However, many factors can affect the radar prediction quality and cause errors in rainfall values obtained from reflection models. Therefore, it is significant to apply error adjustments in these datasets. In this study, the analysis of multiplicative and additive error correction methods for 16 flood events observed in Muğla province between 2015-2019 was performed using two different vector norms (Euclidean norm (L2) and Maximum norm (L∞)). Then, the correction coefficient of the both method and norm that gave accurate result was analyzed considering season and station height. In the study performed with 11 meteorological stations, it was seen that the norm and method that best expresses the improvement in the mean error value is the multiplicative error correction method using the L2 norm. The multiplication factor, on the other hand, differed significantly according to the seasons, not the station altitude; It was calculated that the lowest and highest coefficients were in the spring and summer seasons, respectively, and the coefficients closest to 1 were in the autumn and winter seasons. It has been seen that converting radar data reflectance values to rainfall depth by using seasonally varying coefficients instead of fixed coefficients will reduce the error in radar rainfall forecasts.

Keywords: Muğla weather radar, vector norm, flood.

Muğla Radarı Yağış Tahmin Hatalarının L_2 ve L_∞ Normlarıyla Analizi

ÖZET

Gelişen teknoloji ile birlikte hava radarlarından elde edilen yağış verileri gerek gerçek zamanlı geniş bir alandan temin edilmesi gerekse zamansal ve mekânsal çözünürlüğünün yüksek olması sebepleriyle ani selleri tahmin eden hidrolojik modellerde sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat birçok etmen radar tahmin kalitesini etkilemekte ve yansıma modellerinden elde edilen yağış değerlerinde hataya sebebiyet vermektedir. Dolayısıyla bu verilerde hata düzeltmelerinin yapılması elzemdir. Bu çalışmada 2015-2019 yılları arasında Muğla ilinde gözlenen 16 taşkın olayı için çarpımsal ve toplamsal hata düzeltme metotlarının analizi iki farklı vektör normu (Öklid normu (L_2), ve Maksimum normu (L_∞)) kullanılarak yapılmıştır. Çalışmanın devamında uygun sonuç veren metot ve normun düzeltme katsayısı mevsim ve istasyon yüksekliğine göre incelenmiştir. 11 yağış istasyonu kullanılarak yapılan çalışmada ortalama hata değerindeki düzelmeyi en iyi ifade eden normun ve metodun L_2 normu kullanılarak yapılan çarpımsal hata düzeltme metodu olduğu görülmüştür. Çarpım faktörünün ise istasyon yüksekliğine değil mevsimlere göre belirgin farklılık gösterdiği; en düşük ve en yüksek katsayıların sırasıyla ilkbahar ve yaz mevsimlerinde olduğu, 1 değerine en yakın katsayıların ise sonbahar ve kış mevsimlerinde olduğu hesaplanmıştır. Radar verisi yansıma değerlerinin sabit katsayılar yerine mevsime göre değişen katsayılar kullanılarak yağış derinliğine dönüştürülmesi radar yağış tahminlerindeki hatayı azaltacağı görülmüştür.

***Anahtar Kelimeler*:** Muğla hava radarı, vektör norm, taşkın.

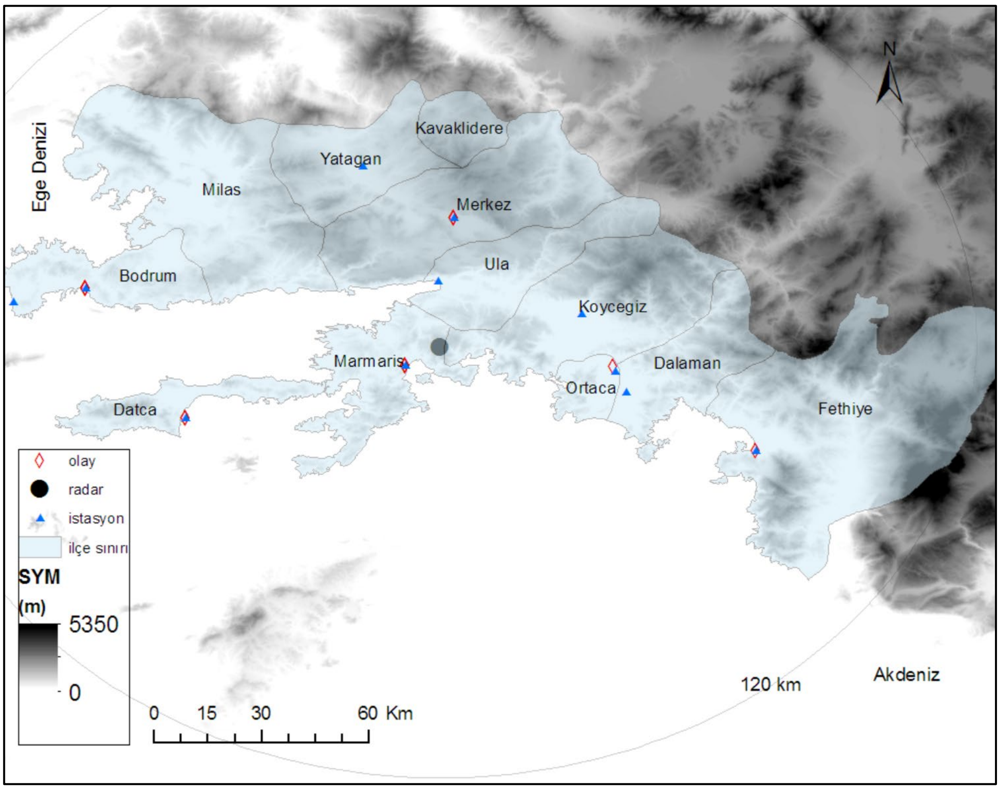
GİRİŞ

Radar tabanlı yağış verileri, yağışı mekânsal ve zamansal olarak temsil etmede özellikle ulaşılması zor dağlık bölgelerde başarılı olduğundan hidrolojik ve meteorolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle taşkın modellemelerinde kritik öneme sahip olan dağıtımlı yağış verisi, yer gözlem istasyonlarının sınırlı bir alanı temsil etmesi ve dağlık bölgelerdeki kurulum, bakım ve veri temin işlemlerinin zor olması sebepleriyle hava radarlarını değerli kılmaktadır. Ancak hava radarlarından temin edilen tahmin verisi radar sistemlerinin dolaylı ürünüdür. Radar sistemleri tarafından ölçülen yansıma miktarı denklemler kullanılarak yağış miktarına dönüştürülmektedir. Niceliksel yağış tahminlerinde günümüzde sıklıkla Marshall-Palmer (Marshall and Palmer 1948) formülü kullanılmaktadır (Sokol et al. 2021). Dolaylı elde edilen bu veriler sistematik ve rasgele hatalar içerebilmektedir. Bu hataların düzeltilerek yağış tahmin verilerinin doğruluğu artırılabilmektedir ve bu amaca yönelik literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Borga and Tonelli 2000; Bech et al. 2003; Chumchean et al. 2004; Öztürk and Yılmazer 2007; Anagnostou et al. 2010; Kim et al. 2018; Ozkaya and Akyurek 2019; Yousefi 2020; Kaveh). Düzeltme algoritmaları genel olarak ikiye ayrılmaktadır: yansıma miktarının düzeltilmesi ve yağış değerinin düzeltilmesi. Fakat her çalışmanın kendine özgü çalışma alanı, yağış paterni ve radar çeşidi olduğundan elde edilen sonuçlar o bölgeye özgü olmaktadır. Bu durum bu konudaki çalışmaların derinliğini artırmaktadır.

Son yıllarda kentsel alanlarda meydana gelen taşkınlar artış göstermekte ve bu taşkınlar maddi hasarlara ve can kayıplarına yol açmaktadır. Bu çalışmada amaç taşkın modellemelerinde kritik bir öneme sahip olan yağış verisinin hata analizini hava radarı için istasyon gözlemleri kullanarak yapmaktır. 2015-2019 yılları arasında Muğla ilinde gözlenen 16 taşkın olayı için iki farklı metot; Öklid norm (L_2) ve Maksimum norm (L_∞) kullanılarak radar yağış tahminlerindeki düzeltme analiz edilmiştir.

ÇALIŞMA ALANI VE VERİ SETLERİ

Çalışma alanı, Muğla ilini kapsamaktadır (Şekil 1). Köppen-Geiger sınıflandırmasına göre Muğla ilinde Akdeniz iklimi hâkimdir. İl genelinde kış mevsimi soğuk ve yağışlı, yaz mevsimi ise sıcak ve kurudur (Durdu 2010). Uzun dönem (1928 - 2020) yıllık toplam yağış miktarının ortalaması Türkiye ortalamasının üzerinde olup 1208 mm'dir. Gözlenen en yüksek sıcaklık Temmuz ayında (42°C), en düşük sıcaklık ise (-12.6°C) Ocak ayında gözlenmiştir (kaynak: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MUGLA#sfB). Bölge turizm açısından kritik bir öneme sahip olması nedeniyle yüksek nüfus artışı ve şehirleşme görülmektedir. Bodrum'da ait uydu görüntüleri kullanılarak yapılan bir çalışmada arazi kullanımındaki değişim, kentsel gelişmedeki büyüme ve nüfus büyüklüğünün birlikte arttığını ortaya koymuştur (Bayazıt et al. 2021). Bu durum yetersiz drenaj altyapısına ve risk altındaki taşkın alanlarının artmasına neden olmuştur.



Şekil 1. Çalışma alanı, taşkın gözlenen yerler ile radar ve yer yağış istasyonlarının sayısal yükseklik modeli üzerindeki yerleşimi

2015 -2019 yılları arasında Muğla ilinde gözlenen (Şekil 1) 16 taşkın olayı için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) hava radarı yağış tahmin verileri ve istasyon yağış verileri temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan istasyon verileri ve olay tarihleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur. Taşkın zaman bilgileri dikkatle incelendiğinde gözlenen taşkın olaylarının büyük bir kısmının soğuk sezonda (kış ve sonbahar mevsimlerinde) gerçekleştiği görülmektedir.

Çalışmada kullanılan meteoroloji radarı C-bant Doppler hava durumu radarıdır ve Türkiye'nin güneybatı kesiminde hizmet vermektedir. Radar deniz seviyesinden 950 m yükseklikte olup 36° 53.1' K, 28° 19.9' D koordinatlarında yer almaktadır (Şekil 1). Radarın menzili 120 km olup mekânsal çözünürlüğü 333.33 m'dir. Radar saatlik toplam yağış verisini (RAIN 1 ürünü) Ağustos 2011'den bu yana sağlamaktadır. Radar yansıtma -yağış derinliği dönüşümü Marshall–Palmer denklemiyle sağlanmakta olup sabit katsayılar kullanılmaktadır ($a = 200$ ve $b = 1.6$). Çalışma alanı dağlık olduğundan radar menzil mesafesinde bulunan bazı yer yağış gözlem istasyonları (Milas ve Kavaklıdere ilçelerindeki) ışın blokajı sebebiyle kullanılamamıştır. Kullanılabilen istasyon sayısı 11 olup konumları Şekil 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonların bilgileri

No	İstasyon No	İstasyon Adı	Boylam	Enlem	Yükseklik (m)
1	17290	Bodrum	27.440	37.033	26
2	17292	Muğla	28.367	37.210	646
3	17294	Dalaman	28.799	36.772	12
4	17296	Fethiye	29.124	36.627	3
5	17297	Datça	27.692	36.708	28

6	17298	Marmaris	28.245	36.840	16
7	17886	Yatağan	28.137	37.340	365
8	17924	Köyceğiz	28.687	36.970	24
9	18317	Ortaca	28.772	36.826	13
10	18048	Ula/Akyaka	28.327	37.051	1
11	17627	Bodrum/Turgutreis Marina	27.260	37.000	6

Tablo 2. Gözlenmiş taşkın olaylarının zaman ve konum bilgisi

No	Taşkın Tarihi	Taşkın Konumu
1	11/5/2015	Muğla
2	21/09/2015	Bodrum
3	21/10/2015	Bodrum
4	16/01/2017	Marmaris
5	7/2/2017	Bodrum
6	7/3/2017	Marmaris
7	10/3/2017	Ortaca
8	23/10/2017	Muğla
9	13/11/2017	Datça
10	28/12/2017	Fethiye
11	16/11/2018	Bodrum
12	16/07/2019	Muğla
13	23/09/2019	Bodrum
14	4/10/2019	Fethiye
15	3/11/2019	Marmaris
16	24/11/2019	Marmaris

METOT

Literatürde radar yağış verisi hata düzeltmelerinde kullanılan birçok metot yer almaktadır. Uygulama kolaylığı sebebiyle çarpımsal ve toplamsal hata düzeltme metotları da bu metotların arasında yer almaktadır. Bu çalışmada iki farklı metot çarpımsal düzeltme metodu ile çarpımsal ve toplamsal düzeltme metotları Öklid normu ve maksimum norm kullanılarak analiz edilmiştir. k vektör boyutundaki radar verileri ve istasyon verileri şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y_{radar} = \left(y_{radar}[n-k+1], y_{radar}[n-k+2], \ldots, y_{radar}[n-1], y_{radar}[n]\right) \quad (1)$$

$$Y_{istasyon} = \left(y_{istasyon}[n-k+1], y_{istasyon}[n-k+2], \ldots, y_{istasyon}[n-1], y_{istasyon}[n]\right) \quad (2)$$

Burada Y_{radar} ve $Y_{istasyon}$ radar ve istasyon yağış verilerini temsil etmektedir. Düzeltilmiş radar yağış verisi (Y'_{radar}) çarpımsal ve toplamsal düzeltme katsayıları kullanılarak şu şekilde yazılabilir:

$$Y'_{radar} = \left(\left(k_c y_{radar}[n-k+1] + k_t\right), \left(k_c y_{radar}[n-k+2] + k_t\right), \ldots, \left(k_c y_{radar}[n-1] + k_t\right), \left(k_c y_{radar}[n] + k_t\right)\right) \quad (3)$$

Burada k_c ve k_t çarpımsal ve toplamsal katsayıları ifade etmektedir. Amaç bu katsayıları kullanarak düzeltilmiş radar verisi ve istasyon verisi arasındaki farkı minimum yapmaktır:

$$\min_{k_c,k_t} \left\| Y'_{radar} - Y_{istasyon} \right\| \tag{4}$$

Benzer analiz sadece çarpımsal katsayı kullanılarak da yapılabilir ve düzeltilmiş radar yağış verisi (Y’’$_{radar}$) şu şekilde ifade edilebilir:

$$Y''_{radar} = \left(k_c y_{radar}[n-k+1], k_c y_{radar}[n-k+2], ..., k_c y_{radar}[n-1], k_c y_{radar}[n]\right) \tag{5}$$

$$\min_{k_c} \left\| Y''_{radar} - Y_{istasyon} \right\| \tag{6}$$

Hata minimizasyonu yukarı verilen denklemler için şu şeklinde ifade edilebilir:

$$\|f\|_{L_2} = \left(\sum_{i=1}^{k} f_i^2 \right)^{1/2} \tag{7}$$

$$\|f\|_{L_\infty} = \max_i(|f_i|) \tag{8}$$

Burada f yağış değerleri arasındaki farkı, L_2 Öklid normu, L_∞ ise maksimum normu ifade etmektedir.

ANALİZLER VE DEĞERLENDİRME

İki farklı metot iki farklı norm kullanılarak analiz edildiğinden genel çerçevede dört farklı sonuç elde edilmiştir. Analizler yapılırken hata kaynaklarını azaltmak için istasyonların olay bazında (72 saatlik zaman dilim içerisinde) 20 mm ve üzeri toplam yağış değerini sağlamış olmalarına dikkat edilmiştir. Sonuç değerlendirmesi üç farklı ölçekte yapılmıştır: ortalama hata farkları (f’), ortalama karekök hatası (RMSE) ve hata değerlerin iyileştirme oranlarının ortalaması (i).

$$f' = Y_{istasyon} - Y^*_{radar} \tag{9}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\Sigma(Y_{istasyon} - Y^*_{radar})^2}{n}} \tag{10}$$

$$i = 1 - \frac{f'}{f} \tag{11}$$

Y* metoda göre düzeltilmiş radar verisini (Y’ ya da Y’’), f ham verilerin farkını, f’ ise düzeltme yapılmış verilerin farkını ifade etmektedir.

Değerlendirme kıstaslarına göre elde edilen sonuçlar Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’de sunulmuştur. Ortalama hata farkları tablosuna bakıldığında bütün olaylar göz önünde bulundurulduğunda en iyi sonucun çarpımsal hata düzeltme metodu kullanılarak yapılan Öklid normuyla olduğu görülmektedir (Tablo 3). İkinci başarılı sonucu veren analizin ise aynı normla analizi yapılan çarpımsal ve toplamsal metottur. Bu kıstasta Öklid normu maksimum norma göre daha başarılıdır.

Tablo 3. Ortalama hata farklarının olay bazındaki sonuçları

Olay	Ham veri	$Y'L_2$	$Y''L_2$	$Y'L_\infty$	$Y''L_\infty$
1	0.50	0.71	0.50	5.20	0.72
2	0.81	1.08	0.80	5.85	1.07
3	1.41	1.74	1.32	8.02	2.14
4	1.13	1.07	0.79	6.09	1.07
5	0.75	0.79	0.47	7.02	0.93

6	1.01	1.09	0.91	3.59	1.08
7	0.83	0.71	0.58	2.22	0.72
8	0.48	0.42	0.37	1.74	0.46
9	0.23	0.27	0.20	1.95	0.29
10	0.53	0.47	0.43	1.75	0.51
11	0.64	0.51	0.47	0.57	0.53
12	0.28	0.15	0.14	2.09	0.15
13	0.36	0.25	0.20	1.04	0.22
14	1.44	0.14	0.11	0.08	0.13
15	0.71	0.84	0.59	3.04	0.90
16	0.60	0.54	0.50	1.39	0.52

Tablo 4. Olay bazında ortalama RMSE sonuçları

Olay	Ham veri	$Y'L_2$	$Y''L_2$	$Y'L_\infty$	$Y''L_\infty$
1	2.07	1.95	1.97	5.29	2.41
2	2.49	2.28	2.34	6.02	2.78
3	4.24	3.71	3.77	8.77	4.90
4	2.99	2.12	2.20	6.22	2.63
5	2.69	2.06	2.10	7.08	3.12
6	2.09	1.78	1.83	3.77	2.01
7	1.57	1.12	1.16	2.32	1.34
8	1.73	1.07	1.08	2.05	1.26
9	1.20	0.84	0.85	2.23	1.07
10	1.40	0.90	0.92	1.97	0.98
11	1.76	1.03	1.04	1.10	1.11
12	1.46	0.61	0.61	2.10	0.64
13	2.21	0.83	0.84	1.47	0.90
14	6.53	0.31	0.32	0.27	0.36
15	2.98	2.14	2.17	3.39	2.80
16	1.90	1.06	1.08	1.75	1.12

Olay bazında ortalama RMSE değerlerine bakıldığında ise başarılı sonuçların yine Öklid normu ile yapılan analizlerde olduğu görülmüştür (Tablo 4). Bu kıstasta, maksimum norm ile yapılan analizlerde çarpımsal metodun çarpımsal ve toplamsal metoda göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Hata iyileştirme oranlarının ortalaması ise diğer kıstaslarla benzer sonuçlar vermiş ve en başarılı sonucun Öklid normunun uygulanarak yapıldığı çarpımsal metot olduğu görülmüştür (Tablo 5).

Ortalama hata değerlerinin daha başarılı sonuç verdiği Öklid normu analizleri mevsimler ve istasyon yüksekliği bazında incelenmiş ve bu etmenlere karşı değişim Şekil 2'de sunulmuştur. Çarpımsal ve toplamsal katsayılar mevsimlere ve yüksekliğe göre sırasıyla Şekil 2 (a), (b), (c) ve (d)'de sunulmuştur. Sadece çarpımsal metotla yapılan sonuçlar ise Şekil (e) ve (f)'de gösterilmiştir. İstasyon yükseklik dağılımı homojen olmadığından eşik değeri 100 m altı ve üstü olacak şekilde iki kategoride incelenmiştir. Fakat bu gruplamada her iki metot için özellikle medyan değerlerde farklılık gözlenmemiştir. Bu gruplamaya göre, çarpımsal (k_c) değerlerin 1'den yüksek olduğu, radar verilerinin istasyon yüksekliğinden bağımsız olarak yağış değerlerini daha az tahmin ettiği anlaşılmıştır.

Tablo 5. Ortalama hata değerleri iyileşme oranlarının sonuçları

Olay	$Y'L_2$	$Y''L_2$	$Y'L_\infty$	$Y''L_\infty$
1	-0.38	0.05	-9.82	-0.37
2	-0.27	0.02	-7.41	-0.42
3	-0.24	0.06	-5.80	-0.54
4	0.03	0.26	-4.84	0.02
5	-0.02	0.39	-8.88	-0.28
6	-0.09	0.08	-2.66	-0.08
7	0.13	0.27	-1.65	0.10
8	0.11	0.22	-2.38	0.06
9	-0.10	0.15	-6.93	-0.19
10	0.09	0.15	-2.58	0.02
11	0.20	0.26	-0.14	0.20
12	0.46	0.51	-7.06	0.47
13	0.27	0.41	-2.60	0.35
14	0.91	0.93	0.95	0.91
15	0.05	0.29	-2.48	0.05
16	0.12	0.19	-1.36	0.13

Mevsimlere göre katsayıların değişimine bakıldığında ise farklılıklar göze çarpmaktadır. Her iki metotta ilkbahar ve yaz mevsimlerine ait çarpımsal medyan değerleri sırasıyla en düşük ve en yüksek değerlerdir. Soğuk mevsimler olarak adlandırılabilen sonbahar ve kış mevsimlerindeki medyan değerler ise 1 değerine daha yakındır. Burada Marshall-Palmer dönüştürme denkleminde kullanılan katsayıların bu mevsimlere daha uygun olduğu ve düzeltme değerlerinin de bunu yansıttığı görülmüştür.

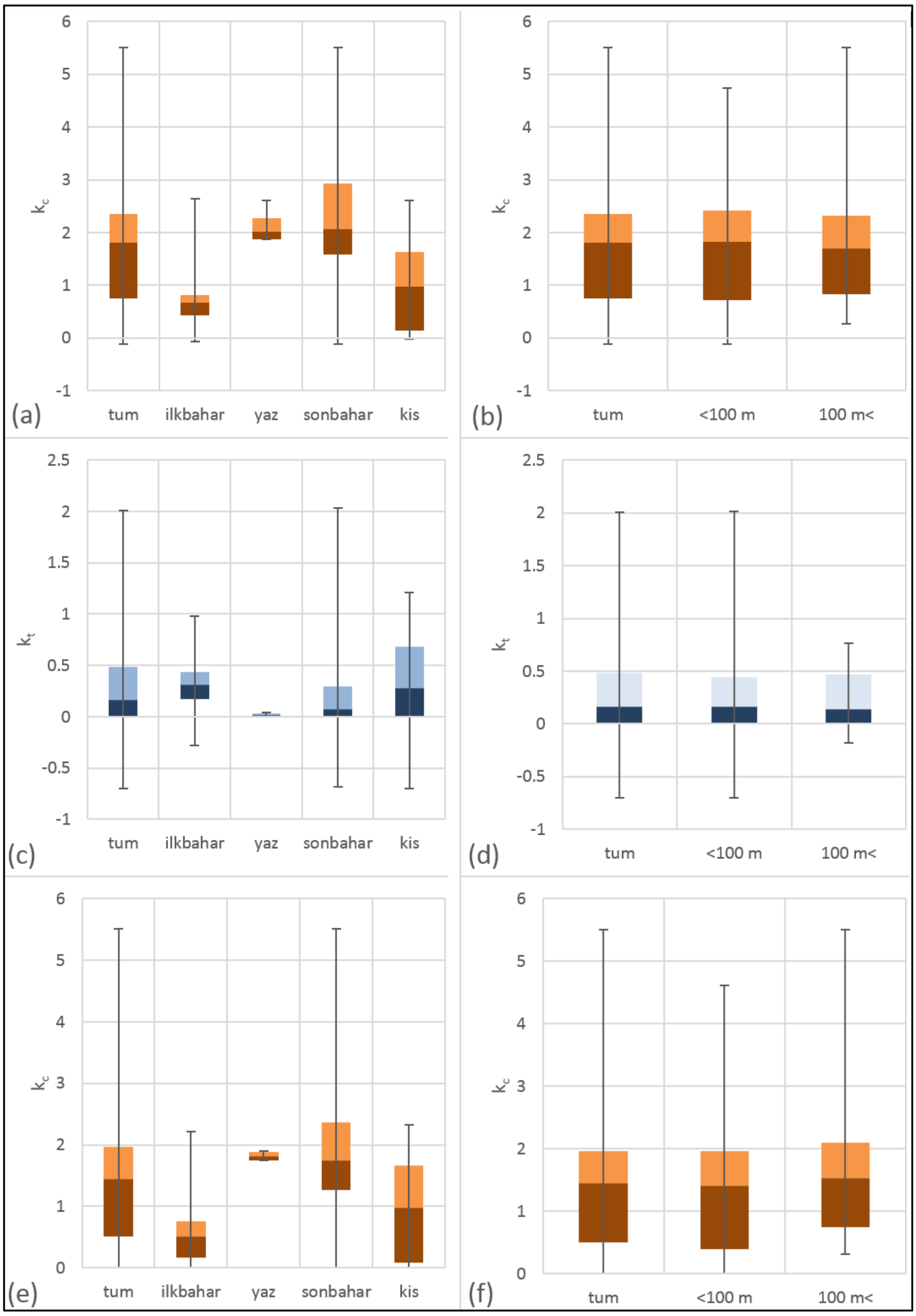
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Muğla ilinde gözlenen 16 taşkın olayı için çarpımsal ve toplamsal hata düzeltme metotlarının analizi iki farklı vektör normu (Öklid normu (L_2), ve Maksimum normu (L_∞)) kullanılarak 11 yer yağış istasyonu ve meteoroloji radarı verileriyle yapılmıştır. Çalışmada ortalama hata değerindeki düzelmeyi en iyi ifade eden Öklid normu için düzeltme katsayılarının değişimi mevsim ve istasyon yüksekliğine göre incelenmiştir.

Çalışmada 20 mm üzeri yağış gözlenen istasyon verileri kullanılmıştır. Çalışma uygulanırken, istasyon ve meteoroloji radar verilerinin birbirinden bağımsız veriler olduğu ve istasyon verilerindeki hatanın önemsiz olduğu varsayılmıştır.

Sonuçları kısaca özetlemek gerekirse:

1. Olayların genelinde radar verisi yağış değerlerini daha az tahmin etmiştir. Radar verisi gözlenen yağış değerlerini takip etmede başarılı olmasına karşın, maksimum yağışın gözlendiği zamanlarda başarısı düşmüştür.



Şekil 2. Çarpımsal ve toplamsal katsayıların Öklid normu analizine göre mevsimsel ve yüksekliğe bağlı değişimi

2. Ortalama hata değerleri ve hata oranlarındaki iyileşme sonuçları göz önünde bulundurulduğunda Öklid normunun maksimum norma göre başarılı olduğu görülmüştür. Ancak, maksimum akım değerlerinin önemli olduğu koşullarda (taşkınlarda maksimum akım değeri genellikle maksimum yağış değeri ile ilişkilidir) L_∞ normun sonuçları dikkate alınmalıdır.
3. Öklid normuyla yapılan her iki metodun sonucu birebirine yakındır. Toplamsal katsayı kullanılması çalışmada önemli bir sonuç değişikliği yaratmamıştır.

4. Meteoroloji radar lokasyonu dağlık bölgeler için avantaj yaratmaktadır. Ancak bu bölgelerde gözlenen ışın blokajı kullanılabilecek istasyon sayısını azaltmıştır.
5. Bu çalışmada Öklid normuyla yapılan analizlerde katsayıların değişiminin istasyon yüksekliğinden bağımsız olduğu görülmüştür. İstasyon sayısının az olması ve yükseklik dağılımın homojen olmaması bu konuda genelleme yapmayı zorlaştırmaktadır.
6. Radar verilerinde kullanılan Z-R dönüşümü bütün zamanlar için sabit katsayılar içermektedir. Bu katsayılar (a = 200 and b = 1.6) kararsız hava koşullarının olduğu (konvektif yağış) yaz ve ilkbahar mevsimlerinde başarılı sonuç verememektedir. Bu çalışmada bulunan katsayılar da bu durumu desteklemekte, soğuk mevsimlerde gözlenen taşkınlardaki medyan değerleri 1 değerine daha yakınsamaktadır. İlkbahar mevsiminde radar verisinin fazla yağış tahmini verdiği, yaz mevsiminde (diğer mevsimlere oranla) en az yağış tahmin değeri verdiği görülmüştür.

Temin edilen verilerde taşkın zamanlarının daha çok kış mevsiminde gerçekleştiği görülmektedir. Yaz mevsiminde 1 olay gözlendiğinden daha fazla olay bulunması ya da çalışma alanının genişletilmesi (belirtilen zaman aralığında) genelleme yapabilmede fayda sağlayacaktır. Taşkın verileri yüksek yağış değerleri içerdiğinden normal dağılıma uyum göstermemektedir. Bu sebeple diğer bir norm olan ve uç değerlerden çok etkilenmeyen L_1 normunun analizlerde kullanılması ileriki çalışmalarda fayda sağlayabilir. Mevsim ve istasyon yüksekliğinden farklı olarak, istasyon konumunun (radar mesafesinden uzaklığı) ve yağış yüksekliğinin katsayılara etkisinin çalışılması da ileriki hedeflerden biridir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmada kullanılan radar ve istasyon yağış verileri için Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ve kurum çalışanlarına teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Anagnostou MN, Kalogiros J, Anagnostou EN, et al (2010) Performance evaluation of high-resolution rainfall estimation by X-band dual-polarization radar for flash flood applications in mountainous basins. Journal of Hydrology 394:4–16. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.026

Bayazıt Y, Koç C, Bakış R (2021) Urbanization impacts on flash urban floods in Bodrum Province, Turkey. Hydrological Sciences Journal 66:118–133. https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1851031

Bech J, Codina B, Lorente J, Bebbington D (2003) The Sensitivity of Single Polarization Weather Radar Beam Blockage Correction to Variability in the Vertical Refractivity Gradient. J Atmos Oceanic Technol 20:845–855. https://doi.org/10.1175/1520-0426(2003)020<0845:TSOSPW>2.0.CO;2

Borga M, Tonelli F (2000) Adjustment of range-dependent bias in radar rainfall estimates. Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere 25:909–914. https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00124-6

Chumchean S, Seed A, Sharma A (2004) Application of Scaling in Radar Reflectivity for Correcting Range-Dependent Bias in Climatological Radar Rainfall Estimates. J Atmos Oceanic Technol 21:1545–1556. https://doi.org/10.1175/1520-0426(2004)021<1545:AOSIRR>2.0.CO;2

Durdu ÖF (2010) Application of linear stochastic models for drought forecasting in the Büyük Menderes river basin, western Turkey. Stoch Environ Res Risk Assess 24:1145–1162. https://doi.org/10.1007/s00477-010-0366-3

Kaveh Y Antalya Radarı Yağış Tahmin Kalitesini Artırmak İçin Yapılan Yağış İstasyon Ölçer Ayarlaması Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Kim T-J, Kwon H-H, Lima C (2018) A Bayesian partial pooling approach to mean field bias correction of weather radar rainfall estimates: Application to Osungsan weather radar in South Korea. Journal of Hydrology 565:14–26. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.082

Marshall JS, Palmer WMK (1948) The distribution of raindrops with size. Journal of meteorology 5:165–166

Ozkaya A, Akyurek Z (2019) Evaluating the use of bias-corrected radar rainfall data in three flood events in Samsun, Turkey. Nat Hazards 98:643–674. https://doi.org/10.1007/s11069-019-03723-z

Öztürk K, Yılmazer AU (2007) Improving the accuracy of the radar rainfall estimates using gage adjustment techniques: Case study for west Anatolia, Turkey. Atmospheric Research 86:139–148. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2007.03.009

Sokol Z, Szturc J, Orellana-Alvear J, et al (2021) The Role of Weather Radar in Rainfall Estimation and Its Application in Meteorological and Hydrological Modelling—A Review. Remote Sensing 13:351. https://doi.org/10.3390/rs13030351

Yousefi KP (2020) Estimation of bias-corrected high-resolution radar precıpitation maps using the radar and rain gauge network over turkey. Middle East Technical University

Examination of Global Precipitation Measurement (GPM) and Meteorological Stations Data on a Sample Dataset

Mustafa HÜSREVOĞLU, İsmail Bülent GÜNDOĞDU
Konya Teknik Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü
mhusrevoglu@ktun.edu.tr; ibgundogdu@ktun.edu.tr

ABSTRACT

Determining the precipitation events that occur at points where there are no meteorological observation stations; is significant for many risk studies such as floods and droughts. By using spatial interpolation methods, e.g., kriging and inverse distance weighting, researchers can predict the spatial distributions of precipitation at non-observation points. In addition, with the help of projects where precipitation is observed by satellites, precipitation sizes can be determined at a certain resolution and over a certain area. In this study, the "GPM_3IMERG_06" precipitation observation data from the Global Precipitation Measurement (GPM) mission, initiated by NASA (National Aeronautics and Space Administration) and JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency), and precipitation observation data from automatic meteorological observation stations (OMGI), obtained from Turkish State Meteorological Service, have been compared in a sample application. The average monthly precipitation in 2016 in the Central Anatolia and the Black Sea Regions of Turkey, which received the least and the highest precipitation throughout the country, have been examined on a sample application. According to the findings obtained, mean precipitation observation differences is ±15.55 mm in the Central Anatolia Region and ±32.67 mm in the Black Sea Region have been determined between the GPM_3IMERG_06 and OMGI data. As a result of the study, the differences between the data from GPM and OMGI stations have been examined on a sample data set and maps of these differences were produced.

Keywords: GPM, map, meteorology, precipitation.

Örnek Bir Veri Seti Üzerinde Küresel Yağış Ölçümü (GPM) Görevi ve Meteoroloji İstasyonları Verilerinin Değerlendirilmesi

ÖZET

Meteoroloji gözlem istasyonları bulunmayan noktalarda meydana gelen yağış olaylarının bilinmesi; sel, taşkın, kuraklık gibi birçok risk araştırmaları için önemlidir. Araştırmacılar, kriging, mesafenin tersine göre ağırlıklandırma gibi mekânsal enterpolasyon yöntemleri kullanarak, gözlem istasyonlarından elde edilen yağış büyüklüklerinin, gözlem olmayan noktalardaki mekânsal dağılımlarını tahmin edebilmektedirler. Ayrıca, uydular yardımıyla yağışların gözlendiği projeler ile belirli çözünürlükte ve belirli bir alan boyunca yağış büyüklükleri belirlenebilmektedir. Bu çalışmada NASA (National Aeronautics and Space Administration) ve JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) tarafından başlatılan Küresel Yağış Ölçümü (Global Precipitation Measurement, GPM) görevine ait "GPM_3IMERG_06" yağış gözlem verileri ile Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilen yağış gözlemi büyüklükleri, örnek bir uygulama ile değerlendirilmiştir. Uygulama kapsamında ülke genelinde en az ve en çok yağış alan, İç Anadolu ve Karadeniz Bölgeleri'nde 2016 yılında görülen aylık ortalama yağışlar incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre GPM_3IMERG_06 ve OMGİ verileri arasında İç Anadolu Bölgesi'nde ortalama ±15.55 mm ve Karadeniz Bölgesi'nde ±32.67 mm yağış gözlem farklılıkları belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda GPM kaynaklı veriler ve OMGİ istasyonları verileri arasındaki farklılıklar örnek bir veri seti üzerinde incelenmiş ve bu farklılıkların haritaları üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: GPM, harita, meteoroloji, yağış.

GİRİŞ

Yağışlara bağlı çeşitli afetler ve su yönetimi gibi konular hakkında karar vericilerin uygun şekilde önlem alma ve planlamalar gerçekleştirmesi için yağışların mekânsal dağılımının bilinmesi önem arz etmektedir. Bu amaçla yağış haritaları tek başına veya diğer konular ile birlikte değerlendirilerek kullanılmaktadır. Meteoroloji istasyonları gözlemlerine dayalı yapılan araştırmalarda, meteoroloji gözlem istasyonlarının belirli bir bölgede kısıtlı sayıda mevcut olabilmesi nedeniyle gözlem yapılamayan konumlardaki yağışın belirlenmesi için mekânsal tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Yağışların mekânsal dağılımının belirlenmesinde, araştırmacılar yaygın olarak kriging, spline yöntemleri ve mesafenin tersine göre ağırlıklandırma (Inverse Distance Weighting, IDW) gibi mekânsal tahmin yöntemlerini kullanmaktadırlar (Adhikary ve diğ., 2017; Aydin, 2018; Bostan, 2013; Chen ve diğ., 2017; Çitakoğlu ve diğ., 2017; Guan ve diğ., 2005; Gundogdu, 2017; Gundogdu & Husrevoglu, 2018; Güler & Kara, 2014; Hüsrevoğlu, 2018; İçağa & Taş, 2018; İlker, 2012; Javari, 2017; Kale, 2018; Kumari ve diğ., 2016; Sun ve diğ., 2015; Taylan & Damçayırı, 2016). Ayrıca uydu teknolojileri kaynaklı ve iklim modellerine ait yağış verileri ile küresel ya da bir bölge boyunca yağış verileri mevcuttur (Sun ve diğ., 2018; Yılmaz ve diğ., 2017). Uydular yardımıyla küresel ölçekte yağış gözlemi elde edilen veri kaynaklarından birisi de NASA (National Aeronautics and Space Administration) ve JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) tarafından başlatılan Küresel Yağış Ölçümü (Global Precipitation Measurement, GPM) görevidir. GPM görevi ile küresel olarak yağış ölçümünün gerçekleştirilmesi, istasyon bulunmayan veya çok az sıklıkta istasyon bulunan bölgelerde gerçekleşen yağışların bilinmesi için oldukça önemlidir. Ayrıca bu görev kapsamında elde edilecek yağış verisi belirli bir çözünürlükte ve sürekli olduğundan, meteoroloji gözlem istasyonları büyüklükleri ile mekânsal tahmin gerçekleştirilmesi gibi bir işleme gerek duyulmadan veriler doğrudan kullanılabilmektedir. Bu noktada bir araştırmacı, meteorolojik gözlem istasyonu verisini temin edip, tahmin yöntemleri ve yaklaşımlara göre doğruluğu etkilenen haritalar elde etmek yerine, doğrudan ve kolayca uydu kaynaklı bir veri setine ait gözlemleri kullanmayı tercih edebilir. Kullanılan bu veriler araştırmacının yürüttüğü taşkın, heyelan gibi bir araştırmanın sonuçlarını etkileyebileceği gibi bir başka araştırmacıya sunacağı altlık veri bakımından da diğer araştırmaları etkileyebilecektir. Araştırmacılar model, uydu kaynaklı ya da gözlem istasyonu verileri ile elde ettikleri yağış dağılımlarını diğer konular ile birlikte değerlendirerek bindirme analizi gibi yaklaşımlar ile yağışlara bağlı farklı konuları da araştırmaktadır. Bu bakımdan uydu verileri ile yağışların gözlendiği kaynaklar ile gözlem istasyonlarının büyüklüklerinin karşılaştırılarak değerlendirilmesi önemlidir (Amjad ve diğ., 2019, 2020; Derin & Yilmaz, 2014; Özcan ve diğ., 2013; Popovych & Dunaieva, 2021; Ramsauer & Marzahn, 2018; Sun ve diğ., 2018; Yılmaz ve diğ., 2017).

Bu çalışmada örnek bir veri seti yardımıyla, Türkiye üzerinde en az yağış alan İç Anadolu Bölgesi ve en çok yağış alan bölgelerden olan Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (OMGİ) ait 2016 yılı aylık ortalama yağış büyüklükleri ile uydular yardımıyla yağışların gözlendiği GPM' e ait GPM_3IMERG_06 (The Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM) (Final Run) (Huffman ve diğ., 2019), aylık ortalama yağış gözlem verileri arasındaki büyüklük farkları incelenmiştir.

Çalışmanın sonraki bölümlerinden Materyal ve Metot bölümünde kullanılan veri setlerinin istatistiksel özellikleri, çalışma bölgesi ve kullanılan yazılım hakkında bilgiler verilmiştir. Araştırma Bulguları ve Tartışma bölümünde ise OMGİ'lerden elde edilen gözlem büyüklükleri ile GPM_3IMERG_06 arasındaki farklar yorumlanmış ve haritalanmıştır. Sonuç bölümünde incelenen konu hakkında çıkarım ve tavsiyelere yer verilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında İç Anadolu Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi üzerinde yer alan, Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait OMGİ'ler ile gözlenen, 2016 yılı aylık ortalama yağış verileri ve incelenen bölgelerde meteoroloji gözlem istasyonlarına isabet eden GPM_3IMERG_06 veri setine ait aylık ortalama yağış büyüklükleri karşılaştırılmıştır. OMGİ verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğünden, GPM_3IMERG_06 veri seti ise NASA'dan temin edilmiştir. Karşılaştırmalar için İç Anadolu Bölgesi'nde 193, Karadeniz

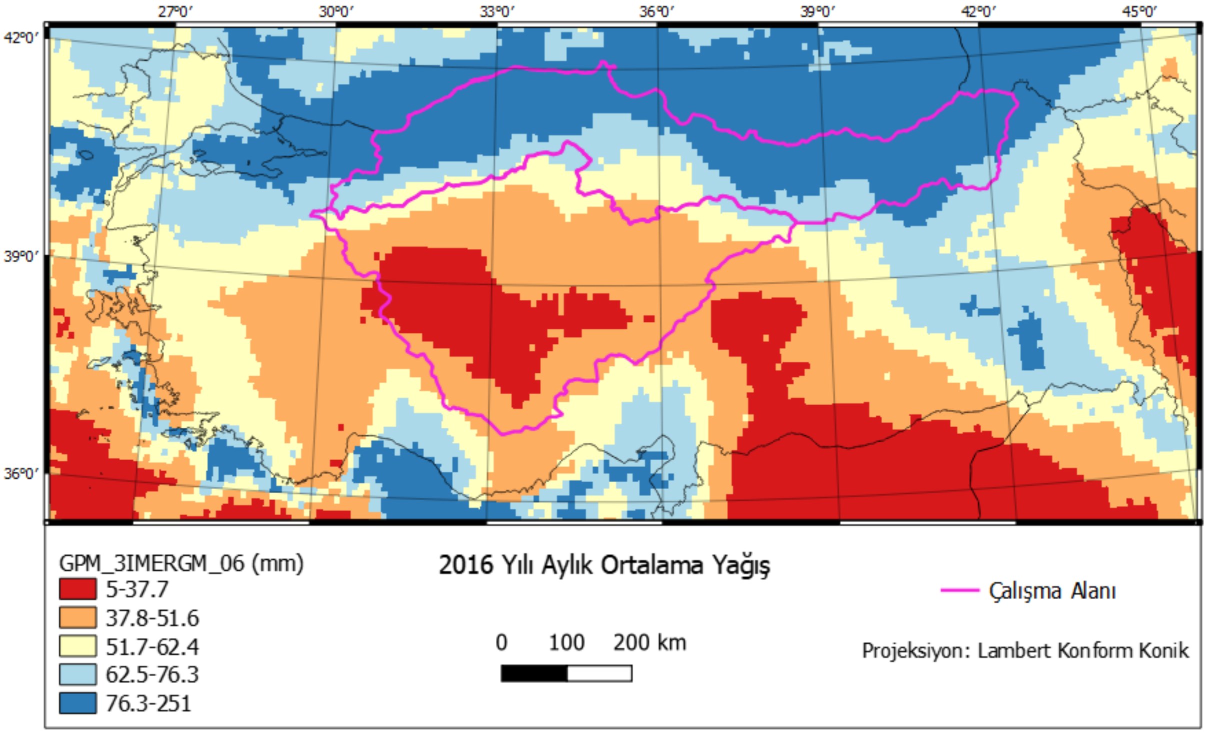
Bölgesi'nde ise 262 OMGİ istasyonu gözlemleri kullanılmıştır. İstasyonlara isabet eden GPM_3IMERG_06 veri seti büyüklükleri QGIS coğrafi bilgi sistemleri yazılımı ve bu yazılıma ait eklentiler havuzunda yer alan "Point Sampling Tool" eklentisi ile gerçekleştirilmiştir. GPM_3IMERG_06 veri setinin mekânsal çözünürlüğü 0.1° X 0.1° olup, yaklaşık 10 km X 10 km'dir. 2016 yılı aylık ortalama yağış büyükleri için GPM_3IMERG_06 veri setinin Türkiye boyunca yağış büyüklükleri ve çalışma alanları Şekil 1 ile gösterilmiştir. Türkiye topoğrafyası ile birlikte çalışma alanları ise Şekil 2 ile gösterilmiştir. Kullanılan veriler ait özet istatistikler İç Anadolu Bölgesi için Tablo 1, Karadeniz Bölgesi için Tablo 2 ile verilmiştir.

Tablo 1. İç Anadolu Bölgesi için Özet İstatistikler

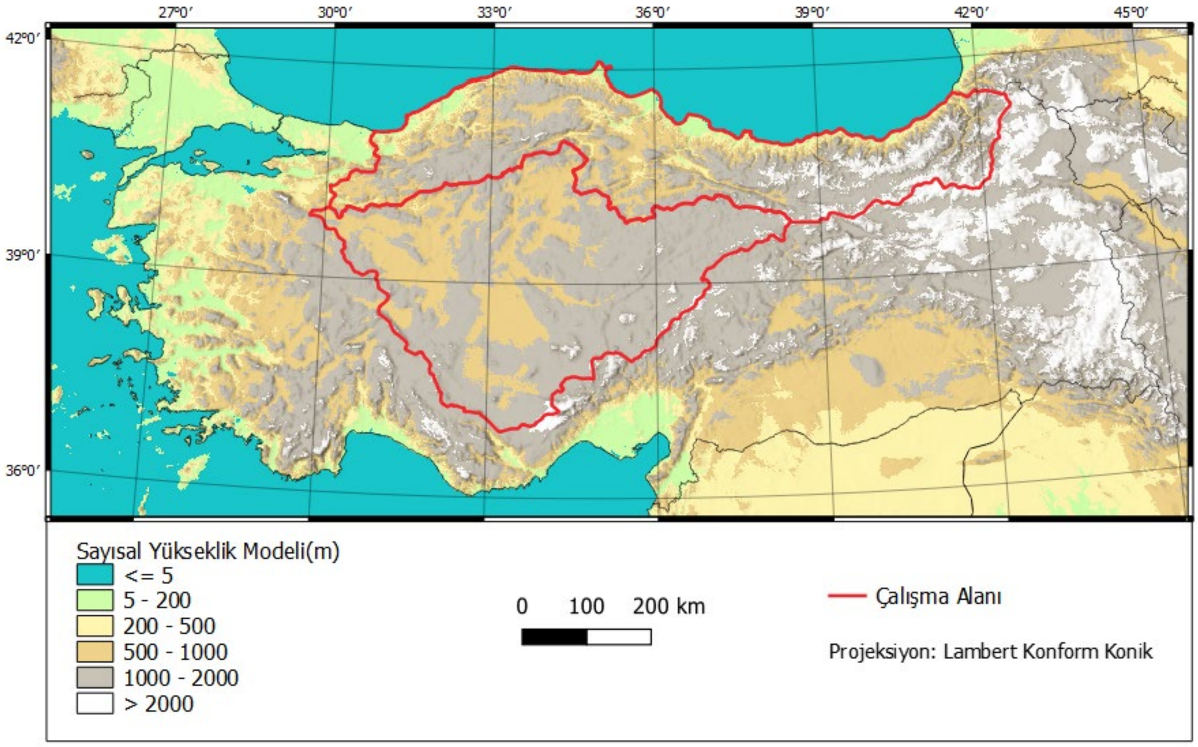
İç Anadolu Bölgesi Özet İstatistikler	**GPM_3IMERG_06 (mm)**	**OMGİ (mm)**
En küçük yağış değeri	30.06	9.22
Ortalama yağış değeri	44.43	30.01
En büyük yağış değeri	72.22	85.38
Standart Sapma	8.01	10.66
Medyan	42.65	29.50
Çarpıklık	0.84	0.83
Basıklık	3.56	5.82

Tablo 2. Karadeniz Bölgesi için Özet İstatistikler

Karadeniz Bölgesi Özet İstatistikler	**GPM_3IMERG_06 (mm)**	**OMGİ (mm)**
En küçük yağış değeri	49.49	7.21
Ortalama yağış değeri	97.31	76.03
En büyük yağış değeri	222.42	276.98
Standart Sapma	33.06	52.48
Medyan	91.91	57.38
Çarpıklık	1.32	1.52
Basıklık	4.79	5.10

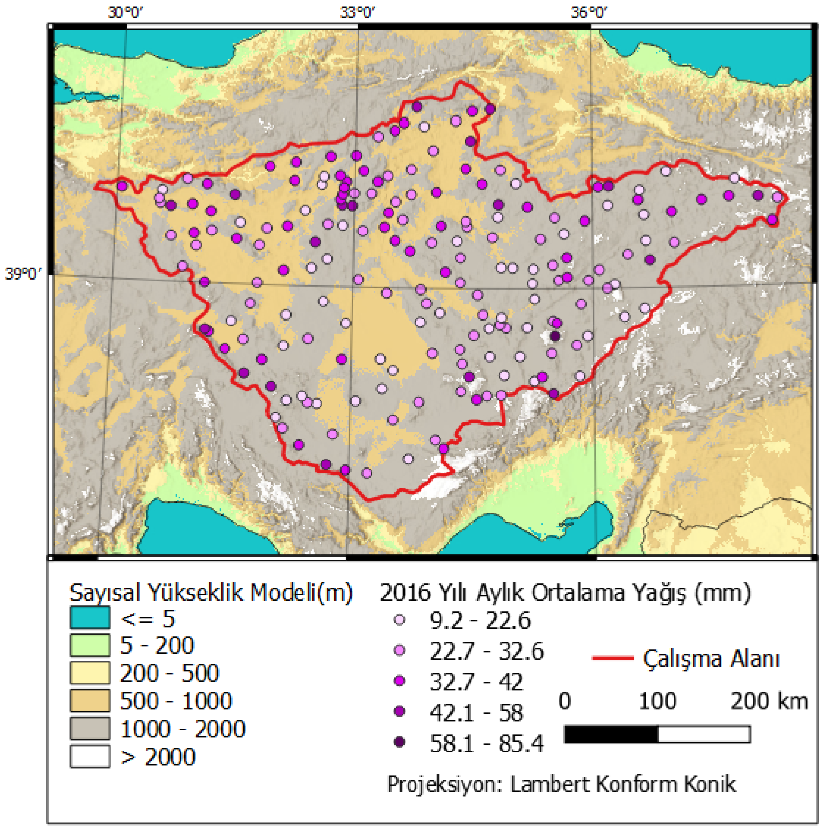


Şekil 1. Türkiye üzerinde GPM_3IMERG_06 yağış gözlemi büyüklükleri (Huffman ve diğ., 2019).

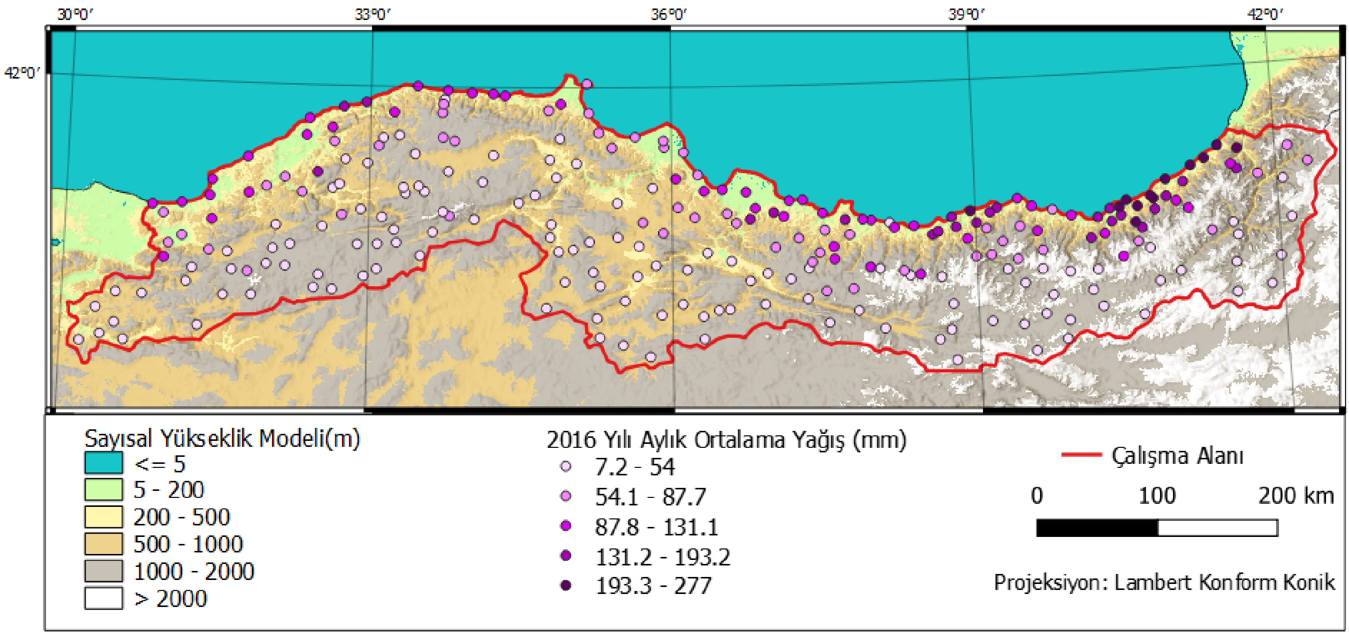


Şekil 2. Türkiye topoğrafyası ve çalışma alanları

İç Anadolu Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi'nde yer alan OMGİ yağış büyüklükleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 ile gösterilmiştir.



Şekil 3. İç Anadolu Bölgesi, OMGİ yağış büyüklükleri



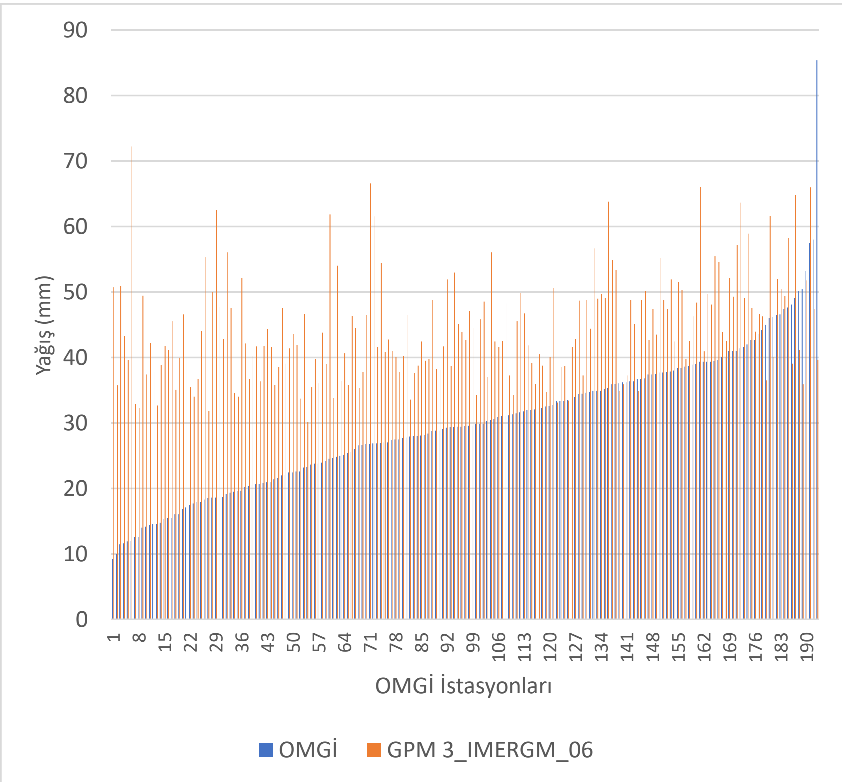
Şekil 4. Karadeniz Bölgesi, OMGİ yağış büyüklükleri

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

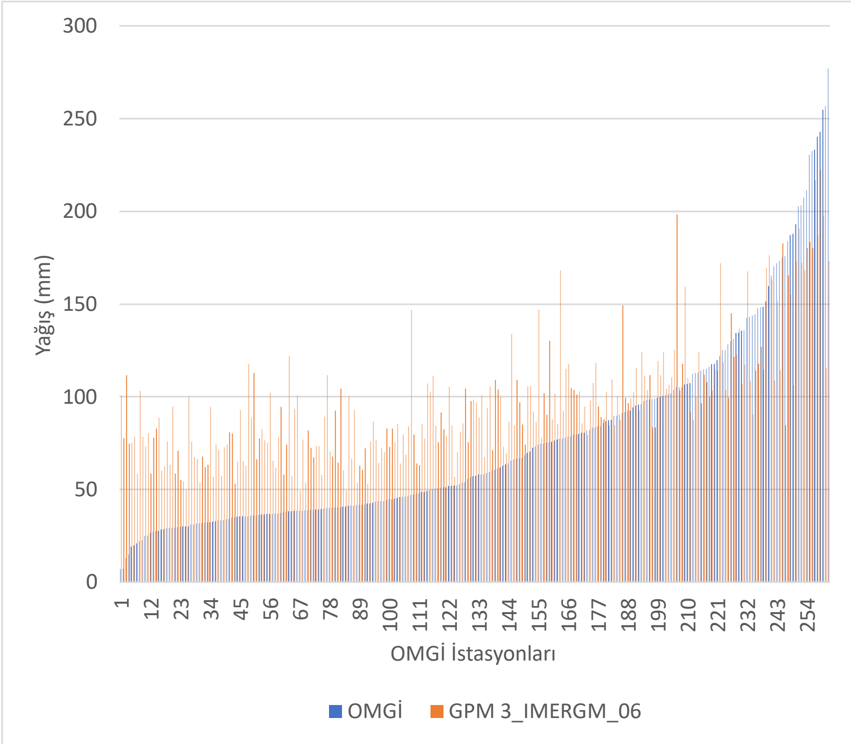
İç Anadolu ve Karadeniz Bölgelerinde OMGİ'ler ile gözlemlenen yağış büyüklükleri ve bu istasyonlara isabet eden GPM_3IMERG_06 yağış büyüklükleri arasındaki farklar incelenmiştir. OMGİ noktalarında görülen farklar İç Anadolu ve Karadeniz Bölgesi için Tablo 3 ile verilmiştir. Yağış gözlemleri farklılıkları İç Anadolu ve Karadeniz Bölgesi için sırasıyla Şekil 5 ve 6 ile gösterilmiştir. Ayrıca istasyon konumları ile gözlem farkları haritalar üzerinde Şekil 7 ve 8 ile gösterilmiştir.

Tablo 3. GPM_3IMERG_06 ve OMGİ Büyüklükleri Farkı

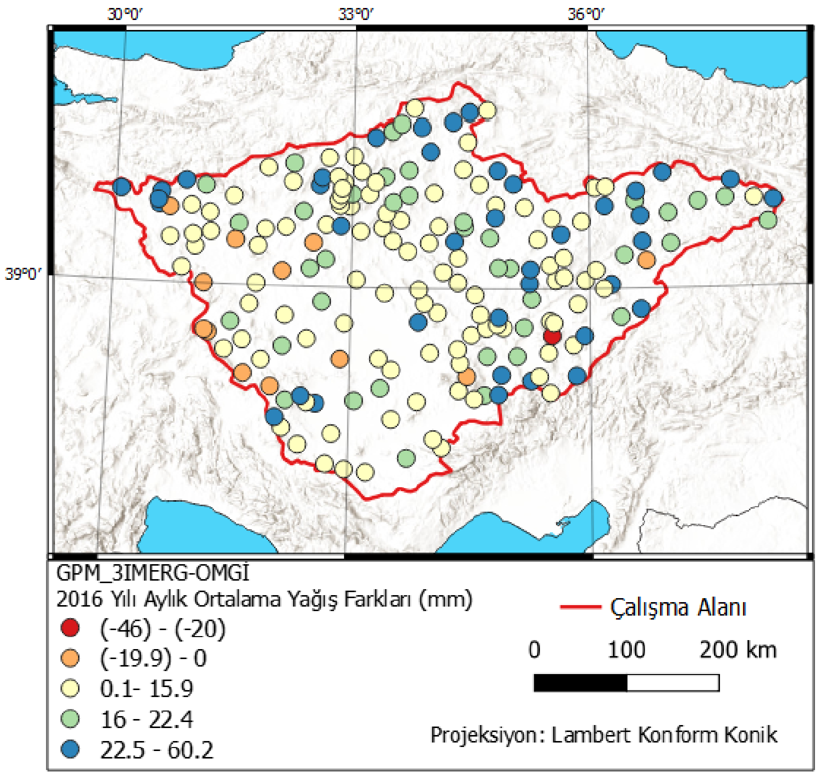
(GPM_3IMERG_06) - (OMGİ)	Karadeniz Bölgesi (mm)	İç Anadolu Bölgesi (mm)
En küçük mutlak değer fark	±1.74	±0.05
En büyük mutlak değer fark	±141.78	±60.27
Ortalama mutlak değer fark	±32.67	±15.55
Negatif yönde en büyük fark	-141.48	-45.77
Pozitif yönde en büyük fark	99.78	60.27



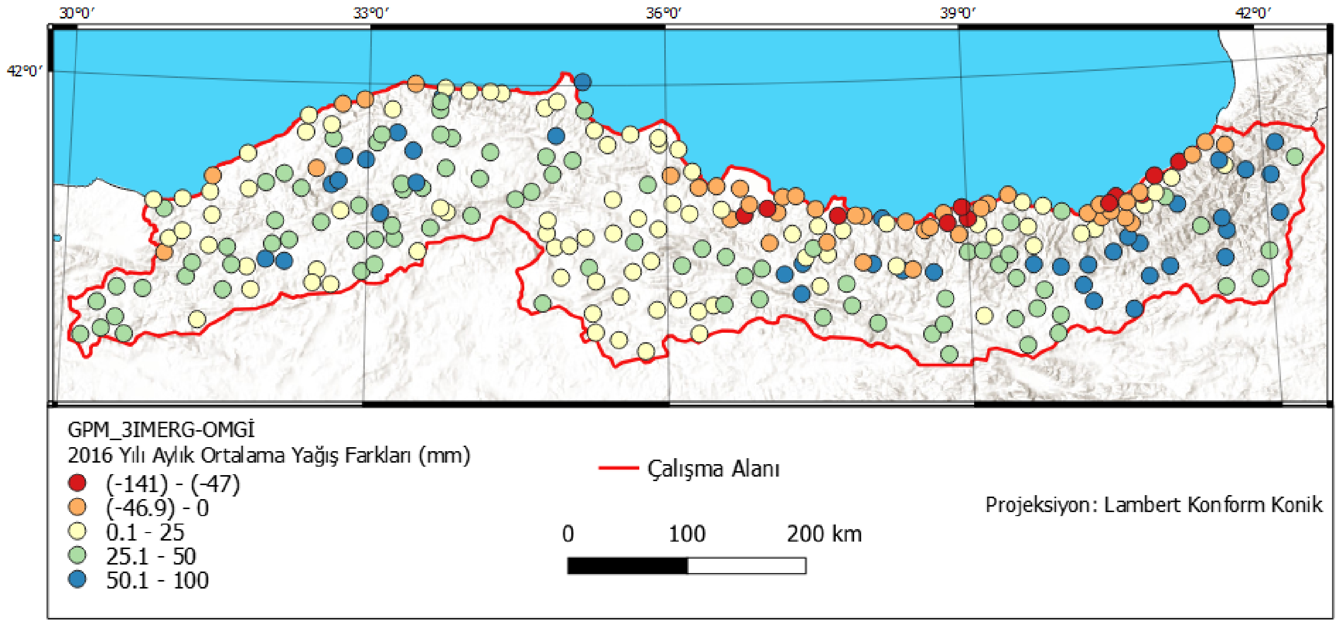
Şekil 5. İç Anadolu Bölgesi, OMGİ yağış büyüklüklerinin karşılaştırılması



Şekil 6. Karadeniz Bölgesi, OMGİ yağış büyüklüklerinin karşılaştırılması

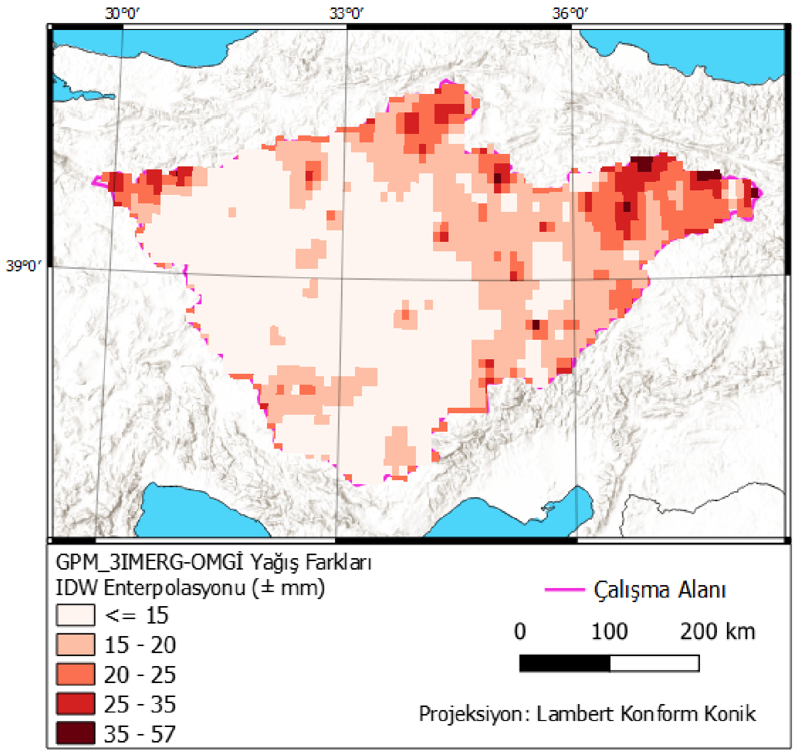


Şekil 7. İç Anadolu Bölgesi, GPM_3IMERG_06 ve OMGİ büyüklükleri farkı

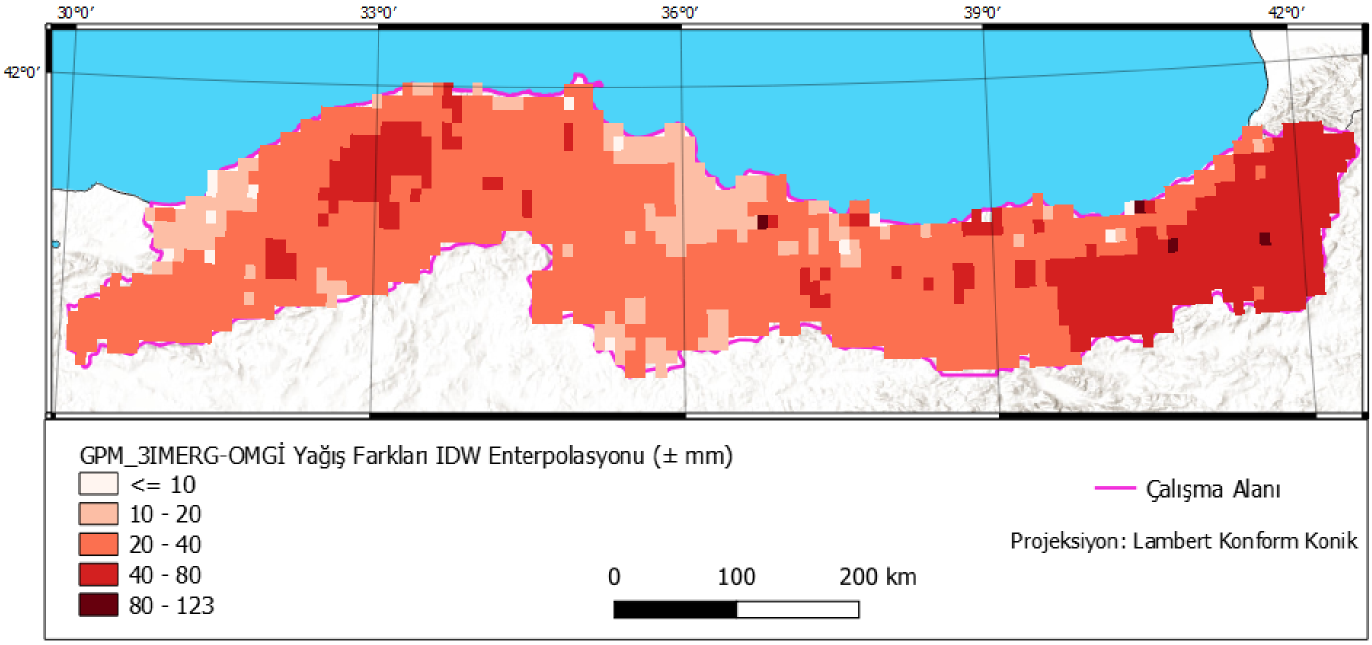


Şekil 8. Karadeniz Bölgesi, GPM_3IMERG_06 ve OMGİ büyüklükleri farkı

İstasyonlar üzerinde görülen farklar IDW yöntemi ile haritalanarak ve çalışma alanları boyunca temsil edilerek, Şekil 9 ve 10 ile gösterilmiştir.



Şekil 9. İç Anadolu Bölgesi, GPM_3IMERG_06 ve OMGİ büyüklükleri farklarının mekânsal dağılımı



Şekil 10. Karadeniz Bölgesi, GPM_3IMERG_06 ve OMGİ büyüklükleri farklarının mekânsal dağılımı

Elde edilen bulgular ışığında 2016 yılı aylık ortalama yağış için İç Anadolu Bölgesi'ne göre Karadeniz Bölgesi'nde GPM_3IMERG_06 gözlemleri ile OMGİ gözlemleri arasında daha çok farklılık görülmüştür. Farklılıkların her iki bölge içinde Kuzeydoğu yönünde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Karadeniz Bölgesinin Kuzeydoğu kıyı kesimlerinde GPM_3IMERG_06 gözlemleri OMGİ gözlemlerinin büyük ölçüde altında kalmıştır. İç Anadolu Bölgesi'nde ise Kuzeydoğu yönünde GPM_3IMERG_06 gözlemlerinin OMGİ gözlemlerinin üstünde olduğu görülmektedir. Tablo 3 ve Şekil 5 ve 6 da görüldüğü üzere her iki veri kaynağı arasında önemli ölçüde farklılıkların bulunduğu istasyon konumları mevcuttur. Bu tür farklılıklar yağışlara bağlı yapılacak diğer analizler için kullanılan veri setine göre farklı sonuçların elde edilmesine neden olabilir.

SONUÇ

Çalışma sonucunda 2016 yılı, aylık ortalama yağış büyüklükleri için OMGİ büyüklükleri ile GPM_3IMERG_06 büyüklükleri arasında önemli farklılıkların görülebileceği ortaya konmuştur. Bölgelere göre veri setleri arasındaki farklılıkların büyüklüğü değişiklik göstermiştir. İç Anadolu Bölgesi için GPM verileri OMGİ verilerine daha yakın iken Karadeniz Bölgesi'nde oldukça yüksek farklılıklar gözlemlenmiştir. Araştırmacıların yağış verilerine bağlı olarak elde edecekleri haritalar ve analizler için hem OMGİ gibi meteoroloji gözlem istasyonu verilerini hem de GPM verisi gibi uydular yardımıyla elde edilen verile birlikte değerlendirerek çalışmalarını gerçekleştirmesi önemli olabilir. Kriging yöntemi gibi mekânsal tahmin yöntemleri ile elde edilecek yağış haritalarında GPM verilerinin ikincil veri olarak kullanımı araştırılabilir. Görülen önemli farklılıkların her bölgenin coğrafi özelliklerine göre karakteristik olarak belirlenmesi ile farklı veri setleri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi araştırmacılar için önem arz edecektir.

KAYNAKLAR

Adhikary, S. K., Muttil, N., & Yilmaz, A. G. (2017). Cokriging for enhanced spatial interpolation of rainfall in two Australian catchments. *Hydrological processes*, *31*(12), 2143-2161.

Amjad, M., Yilmaz, M. T., Yucel, I., & Yilmaz, K. K. (2019). Uncertainty Assessment of Satellite-and Model-based Precipitation Products over Complex Terrain of Turkey. Geophysical Research Abstracts,

Amjad, M., Yilmaz, M. T., Yucel, I., & Yilmaz, K. K. (2020). Performance evaluation of satellite-and model-based precipitation products over varying climate and complex topography. *Journal of Hydrology*, *584*, 124707.

Aydin, O. (2018). Evaluation Of Kriging With External Drift Method In Spatial Modelling Of Precipitation: A Case Of Aegean Region, Turkey. *Dumlupinar University Journal of Social Science/Dumlupinar Üniversitesi Soysyal Bilimler Dergisi*(56).

Bostan, P. A. (2013). *Analysis And Modeling Of Spatially And Temporally Varying Meteorological Parameter: Precipitation Over Turkey* [Doktora Tezi, Middle East Technical University]. Ankara.

Chen, T., Ren, L., Yuan, F., Yang, X., Jiang, S., Tang, T., . . . Zhang, L. (2017). Comparison of spatial interpolation schemes for rainfall data and application in hydrological modeling. *Water*, *9*(5), 342.

Çitakoğlu, H., Çetin, M., Çobaner, M., & Haktanır, T. (2017). Mevsimsel Yağışların Jeoistatistiksel Yöntemle Modellenmesi ve Gözlemi Olmayan Noktalarda Tahmin Edilmesi. *İMO Teknik Dergi*, *7725*(7745), 469.

Derin, Y., & Yilmaz, K. K. (2014). Evaluation of multiple satellite-based precipitation products over complex topography. *Journal of Hydrometeorology*, *15*(4), 1498-1516.

Guan, H., Wilson, J. L., & Makhnin, O. (2005). Geostatistical mapping of mountain precipitation incorporating autosearched effects of terrain and climatic characteristics. *Journal of Hydrometeorology*, *6*(6), 1018-1031.

Gundogdu, I. B. (2017). Usage of multivariate geostatistics in interpolation processes for meteorological precipitation maps. *Theoretical and Applied Climatology*, *127*(1-2), 81-86.

Gundogdu, I. B., & Husrevoglu, M. (2018). Comparison of Different Prediction Approaches For Precipitation Distribution by Kriging Methods. *Journal of Scientific and Engineering Research*, *5*(4), 296-302.

Güler, M., & Kara, T. (2014). A comparison of different interpolation techniques used in mapping monthly precipitation in northern Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, *23*(2), 341-347.

Huffman, G. J., Stocker, E. F., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., & Tan, J. (2019). *GPM IMERG Final Precipitation L3 1 month 0.1 degree x 0.1 degree V06*. https://doi.org/10.5067/GPM/IMERG/3B-MONTH/06

Hüsrevoğlu, M. (2018). *Jeoistatistik analiz ile yağış haritalarının görselleştirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]. Konya.

İçağa, Y., & Taş, E. (2018). Comparative analysis of different interpolation methods in modeling spatial distribution of monthly precipitation. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *4*(2), 89-104.

İlker, A. (2012). *Akdeniz Bölgesinde Yağışın Alansal Dağılımı* [Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi]. Isparta.

Javari, M. (2017). Comparison of interpolation methods for modeling spatial variations of Precipitation in Iran. *International Journal of Environmental and Science Education*, *12*(5), 1037-1054. https://doi.org/10.12973/ijese.2016.322a

Kale, M. (2018). Yeşilırmak Havzası Mekânsal Yağış Dağılımına ait Değişiminin Deterministik ve Stokastik Yöntemlerle Belirlenmesi. *Yerbilimleri Dergisi*, *39*(3), 263-276.

Kumari, M., Basistha, A., Bakimchandra, O., & Singh, C. (2016). Comparison of spatial interpolation methods for mapping rainfall in Indian Himalayas of Uttarakhand region. In *Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment* (pp. 159-168). Springer.

Özcan, O., Musaoğlu, N., Bookhagen, B., & Örmeci, C. (2013). Uydu ve yersel yağış verilerinin noktasal frekans analizi ile mekansal değerlendirmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara*.

Popovych, V. F., & Dunaieva, I. A. (2021). Assessment of the GPM IMERG and CHIRPS precipitation estimations for the steppe region of the Crimea. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, *9*.

Ramsauer, T., & Marzahn, P. (2018). Comparison of IMERG GPM precipitation data with RADOLAN weather radar data over Germany. EGU General Assembly Conference Abstracts,

Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, K. L. (2018). A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons. *Reviews of Geophysics*, *56*(1), 79-107.

Sun, W., Zhu, Y., Huang, S., & Guo, C. (2015). Mapping the mean annual precipitation of China using local interpolation techniques. *Theoretical and applied climatology*, *119*(1-2), 171-180.

Taylan, E. D., & Damçayırı, D. (2016). Isparta Bölgesi Yağış Değerlerinin IDW ve Kriging Enterpolasyon Yöntemleri ile Tahmini [Teknik Not]. *İMO Teknik Dergi*(459), 7551-7559.

Yılmaz, M., Amjad, M., Bulut, B., & Yılmaz, M. T. (2017). Uydu Kaynaklı Yağmur Verilerinin Hata Oranlarının Deniz Kıyılarına Olan Uzaklığa Bağlı Analizi. *Teknik Dergi*, *28*(3), 7993-8005.

Meteorological Algorithms of METRAD System and Future of Weather Radar (METRAD III)

Emre ÇİFTÇİBAŞI, Yücel ÖZDEMİR, Ergenekon HASSOY

RST A.Ş.
eciftcibasi@rstteknoloji.com.tr; yozdemir@rstteknoloji.com.tr; ehassoy@rstteknoloji.com.tr

ABSTRACT

In this paper, the METRAD X-Band Meteorology Radar system developed with the support of TUBITAK (The Scientific and Technological Research Council of Turkey), the successor METRAD II project, in which meteorology algorithms were enhanced, and the METRAD III project, which is aimed to develop new capabilities, are described.

METRAD System provides the user with raw moments of meteorology regime such as reflectivity and velocity which are produced from digital I/Q data produced by Signal Processing Unit from the received x-band radar signal reflections. National meteorological regime products are produced from these raw moments.

METRAD II project helped develop the main meteorological products;

- CAPPI (Horizontal cross section meteorological regime for a selected elevation and azimuth in the radar range from the radar reflectivity hemisphere matrix)
- PCAPPI (When horizontal cross-section of volumetric data is taken, if some radar reflectivity values are not available due to beam blocking or lack of volumetric data, interpolation of these data non-available sections on the map due to synthetically producing data close to real content by approximation and similar techniques)
- VIL (the total amount of precipitation between the two heights),
- MAXD (Determination of the regions with the most precipitation on the vertical axis for each position on the surface from a bird's eye view angle)
- RHI (speed and reflectivity information of meteorological regime at all elevation values of volumetric data obtained scanning by the elevation axis between the starting and ending values)

and in this paper the validation results of these algorithms are given, in comparison to C-band national weather service radars.

RST also has a Ka-band 35 GHz Portable Polarimetric Weather Radar for meteorological analysis, prediction and early warning system of possible natural catastrophic events. This radar has detection capabilities very similar to a LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) system as used by international airports, as Ka band offers very high resolution of cross polarized detection. RST is currently working on the transfer of current X-bant radar software capabilities also to this Ka band radar for early fire and flood hazard detection in short to medium range.

For future work, RST METRAD roadmap from the beginning of first METRAD project up to 2022 is given in the conclusion part. Last section also includes the General Directorate of Meteorology (MGM) and the Disaster and Emergency Management Directorate (AFAD) suggestions on the current METRAD system.

Keywords: Meteorology, radar, METRAD, CAPPI, PCAPPI, MAXD, VIL, RHI, MGM, AFAD.

INTRODUCTION

RST Inc, established in 2012 is a technology developer company for radar, RF and electronic warfare systems. Company specializes in system, hardware and software engineering for system and sub-system design, test equipment and consultancy.

METRAD System is the X band polarimetric weather radar developed under TÜBİTAK support and named as national weather radar in related documentation.

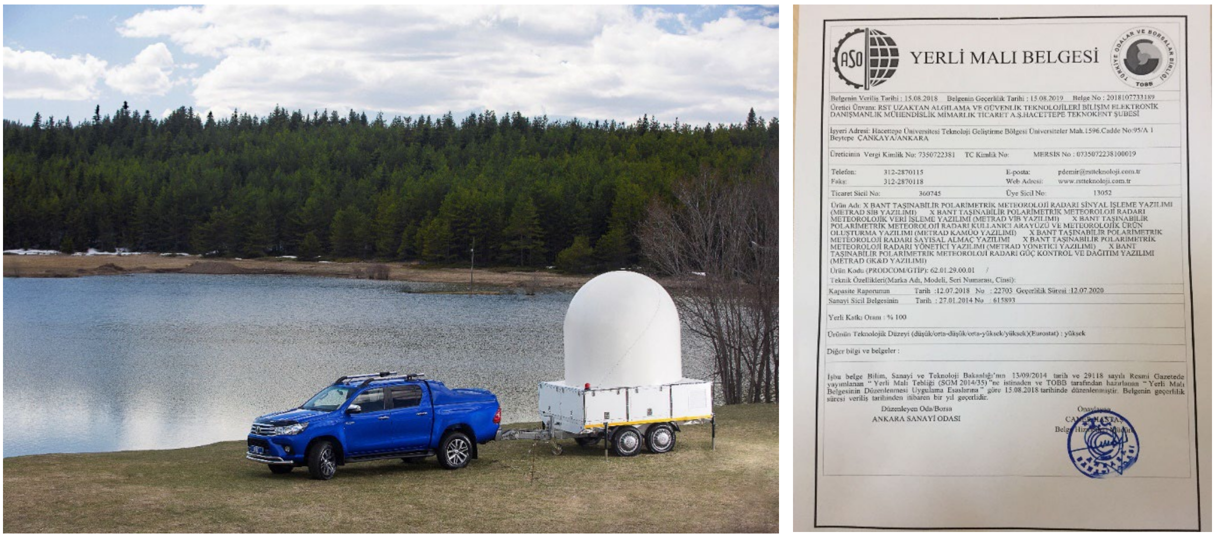


Figure 1: Transportable METRAD System

METRAD System software continued to develop in scope of TÜBİTAK supported METRAD II Project between 2017 and 2021. Most of the meteorological products detailed in this paper are added to system during METRAD II Project.

METRAD SYSTEM

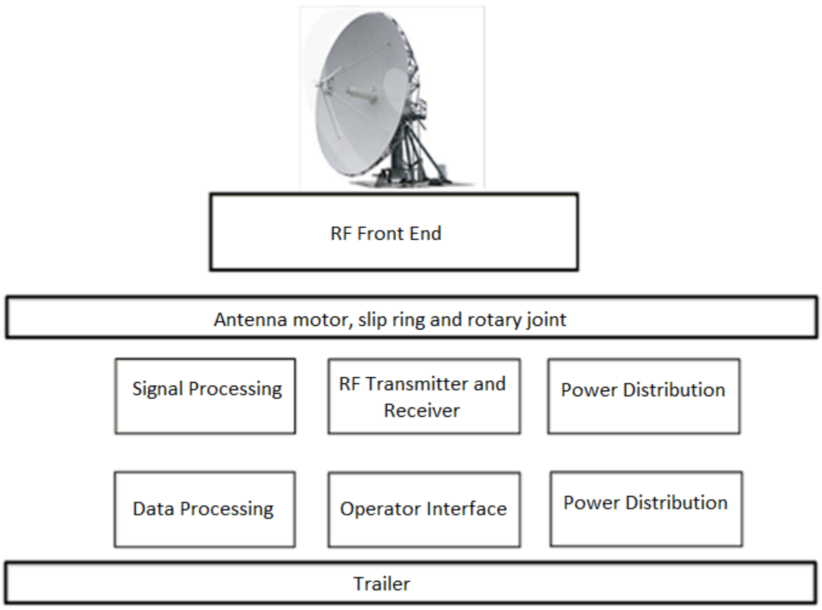


Figure 2: METRAD System Components

METRAD System components are listed below as shown in Figure 2

- Antenna Unit
- Pedestal Unit (Antenna motor, slip ring and rotary joint)
- RF Front End Unit
- RF Receiver and Transmitter Units
- Signal Processing Unit
- Data Processing Unit
- Control and Interface Unit
- Power Distribution Unit
- Trailer

METRAD System technical properties are also given below:

- Frequency : 9325MHz
- PRF : 0.2 – 3KHz
- PW : 0.33 – 4 uss
- Peak Power : 20 KW
- Antenna Diameter : 1.5 m
- Antenna Beam Width : 1.5 ^{o}
- Antenna Coverage : 360 Less, -2/+90 El
- Routing Sensitivity : 0.1 ^{o}
- Angular Speed : 6 rpm max
- Working Range : > 75 km

The hardware supplies the signals to custom developed signal processor cards shown in Figure , which transform the signals to base meteorological moments as listed in table below.

Table 1: Calculated Meteorological Base Moments after Signal Processing

Base Moment	**Moment Description**
Z	Reflectivity (clutter corrected)
T	Total Reflectivity (not clutter corrected)
ZDR	Differential Reflectivity
Vel	Radial Velocity
Width	Spectral Width
ØDP	Differential Phase Shift
KDP	Specific Differential Phase
TV/ZV	(Total) Reflectivity in vertical channel

These base moments are used in the following meteorological products currently %100 validated and running on METRAD System, developed under METRAD II Project with TÜBİTAK Support according to [1], [2] and [3]. Wind products micro burst, wind shear and gust front are also planned for development in METRAD III Project according to [4] and [5], in cooperation with İTÜ [Web-1].

Table 2: Validated Meteorological Products in METRAD System

Meteorological Product	Product description
PPI	The rate and amount of precipitation received by horizontal scanning (reflectivity)
CAPPI	The amount of precipitation at a certain height
PCAPPI	The amount of precipitation at a certain height (with interpolation for regions with no signal)
MAX	The height with the heaviest precipitation, on the vertical axis for each coordinate
VIL	The total amount of precipitation between the two heights
RHI	The rate and amount of precipitation of all elevation levels, received by a vertical scan

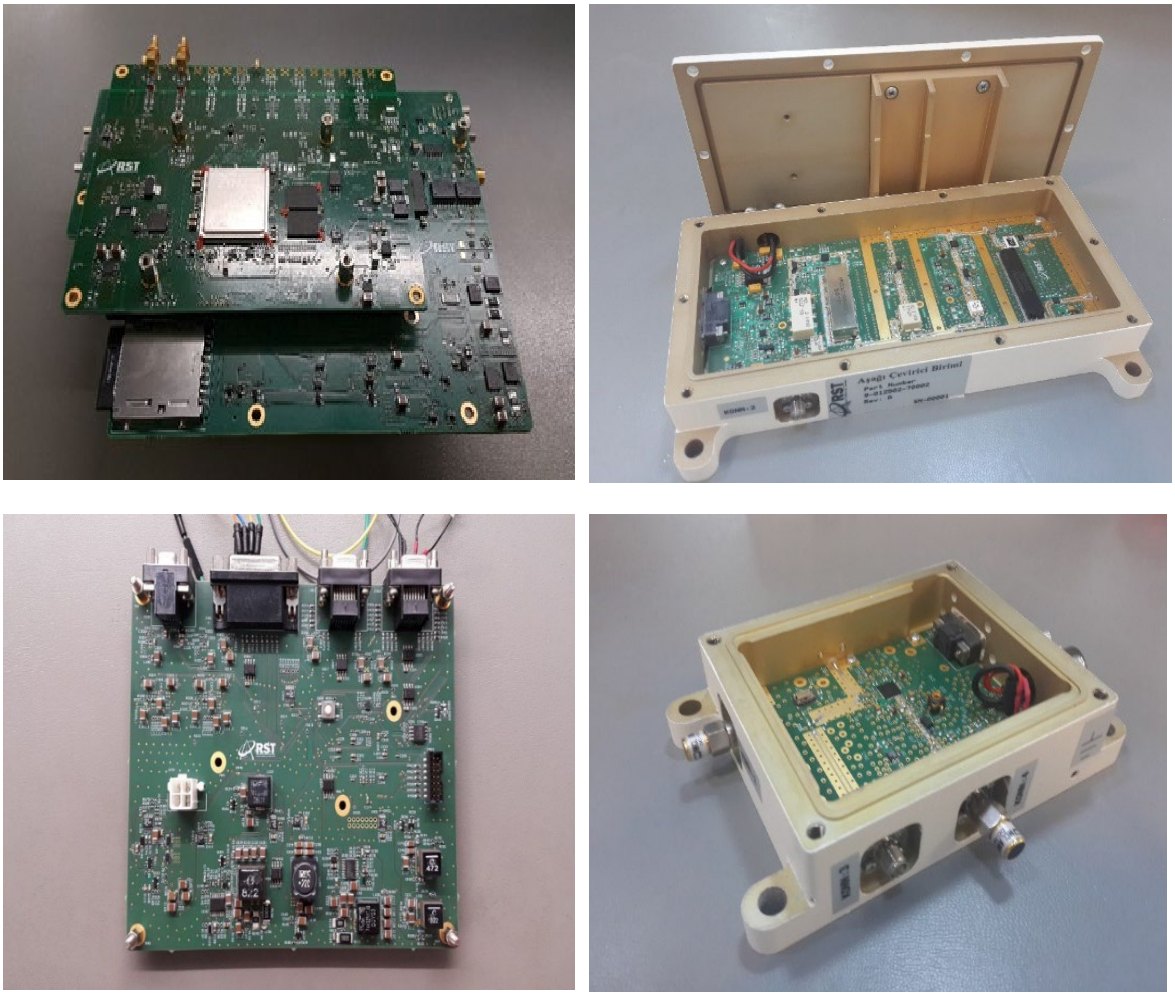


Figure 3: METRAD Signal and RF Processor Cards

ADVANCED METRAD SOFTWARE VALIDATION RESULTS

For validation of METRAD algorithms, we have performed many tests in the field, especially near the General Directorate of Meteorology (MGM) site in Elmadağ, Ankara.

Transportable METRAD system if left for operation for months at Elmadağ radar site, and the data obtained is compared with MGM live radar data on the web. Results from MGM radars and METRAD are similar, with METRAD giving much more in depth meteorological information as METRAD is operating at a higher frequency band, namely x-band.

Below Figure 4 to Figure10 show the validation results of X-band METRAD system meteorological products compared with C band MGM system output.

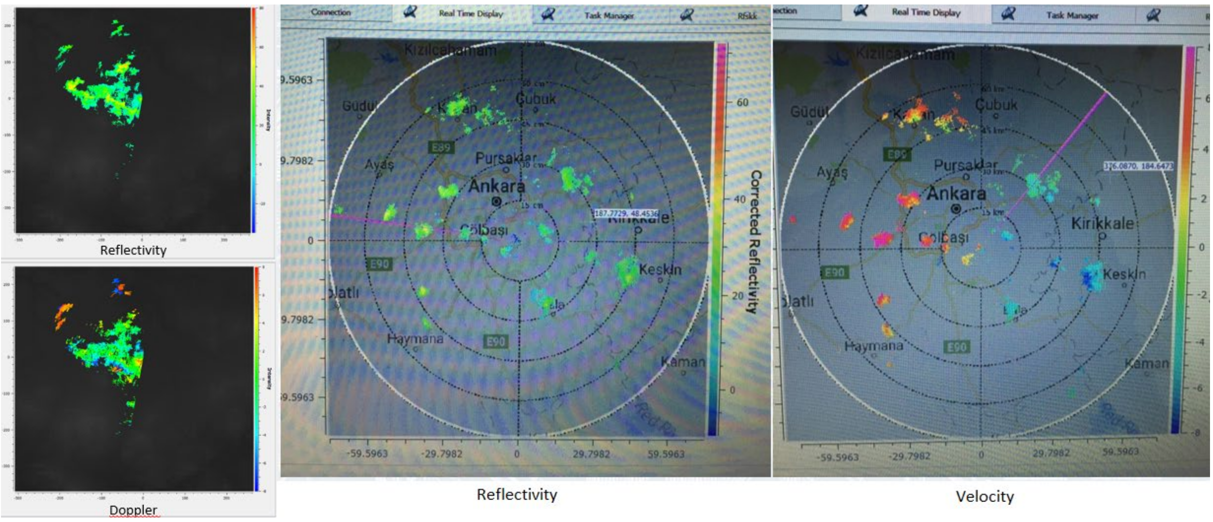


Figure 4: METRAD Reflectivity and Doppler Velocity Output (26/09/2017 15:20)

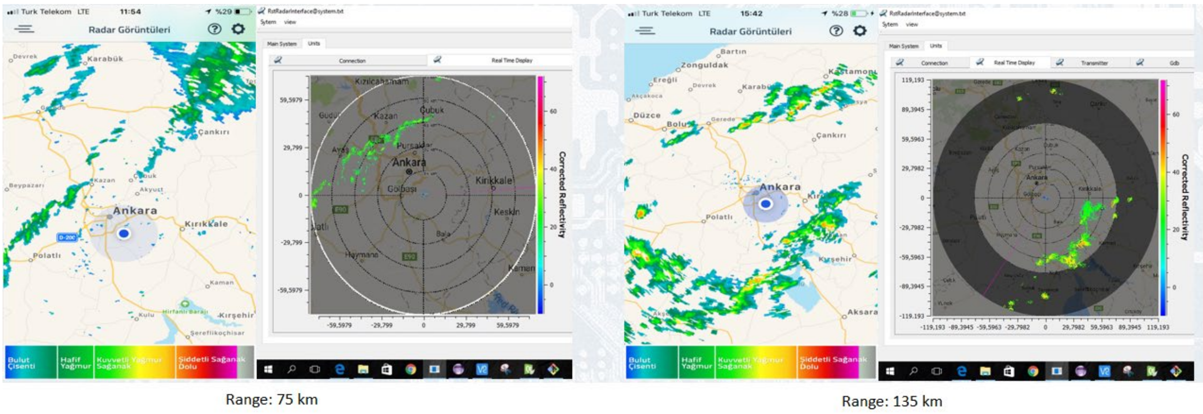


Figure 5: METRAD and MGM C-band Output Comparison (18/05/2018 11:54)

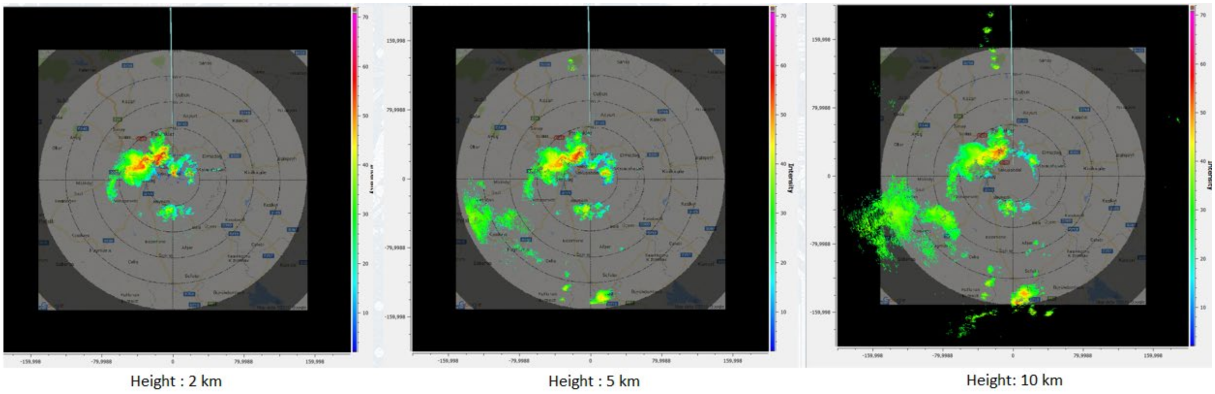


Figure 6: METRAD CAPPI Output (06/06/2018 16:40)

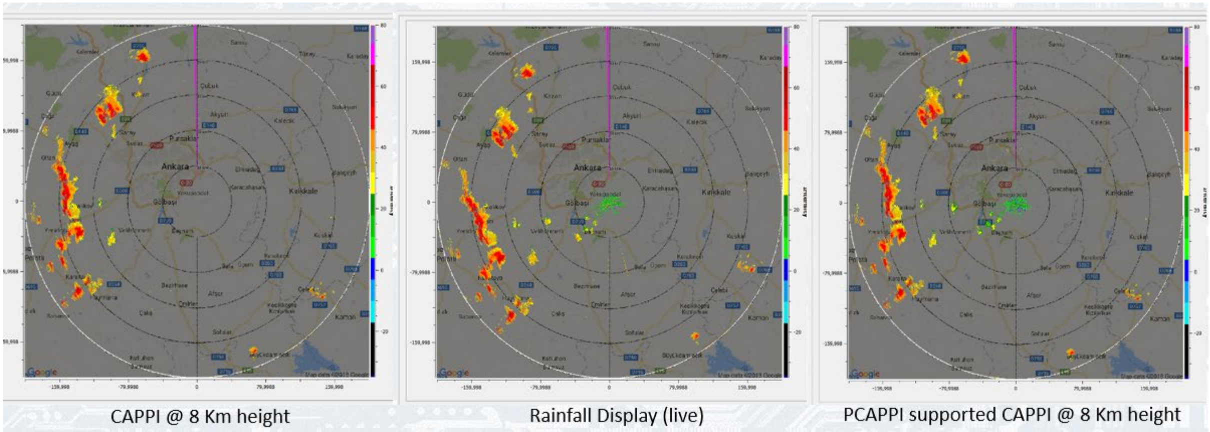


Figure 7: METRAD PCAPPI Output (06/06/2018 16:40)

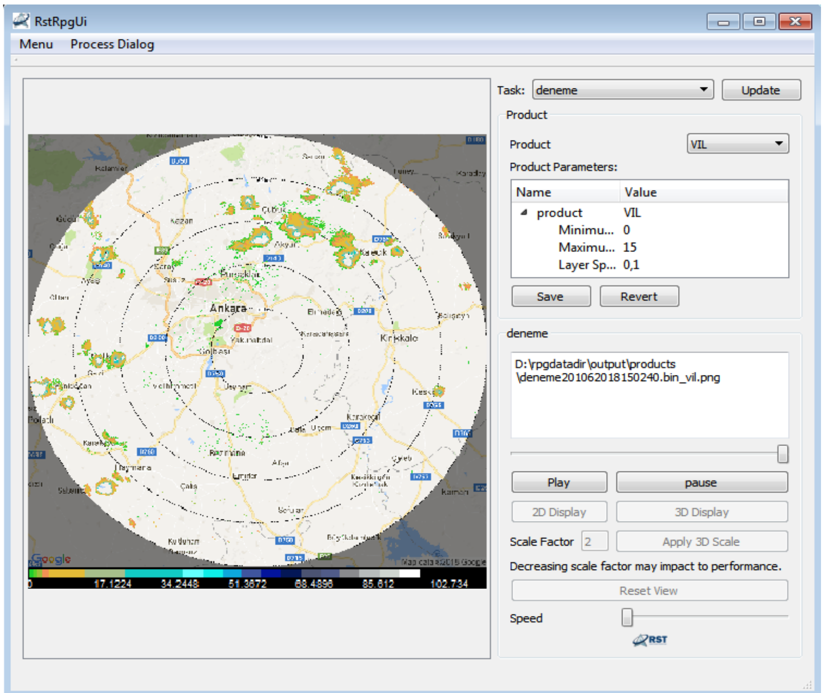


Figure 8: METRAD VIL Display (Vertically Integrated Liquid)

Figure 9: METRAD and MGM Max-D Capability Comparison (21/06.2018 14:30)

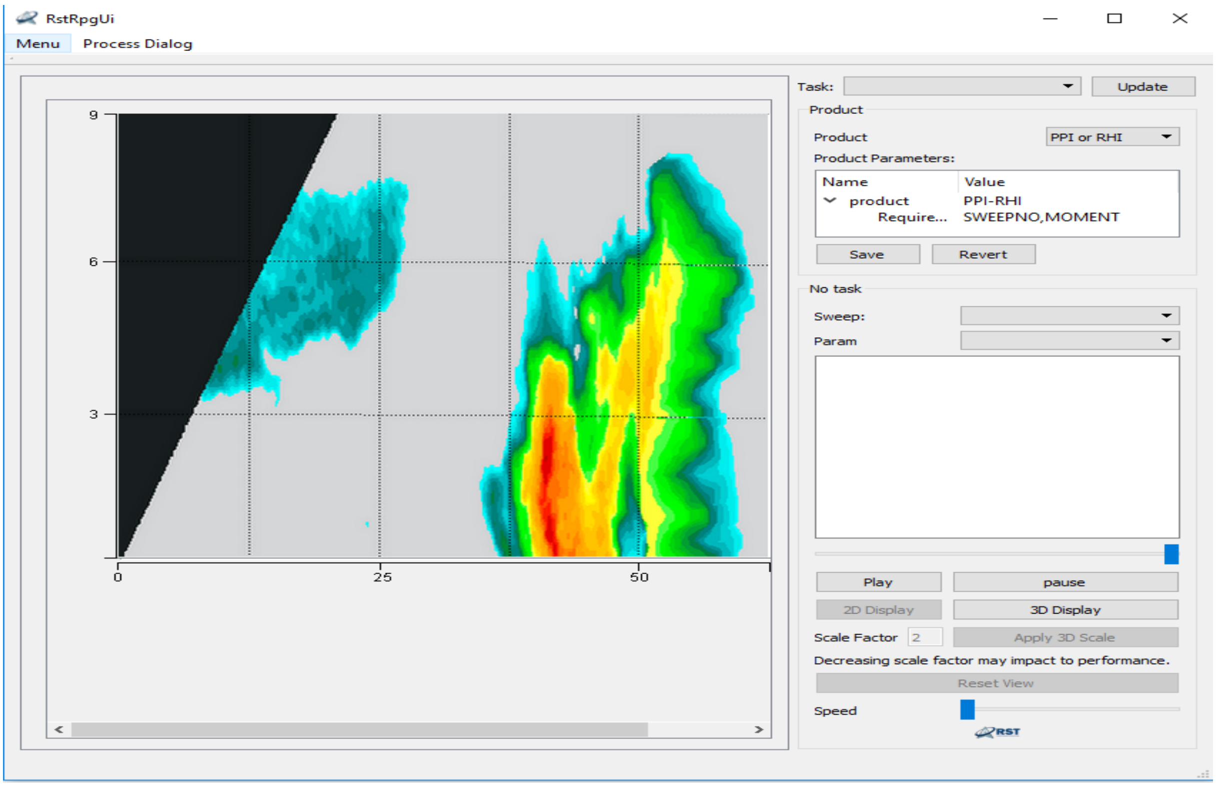


Figure 10: METRAD RHI Display (Elevation-based precipitation density obtained by vertical scanning of precipitation at a certain range and angle)

Ka-BAND METRAD SYSTEM

RST also has a Ka-band 35 GHz Portable Polarimetric Weather Radar for meteorological analysis, prediction and early warning system of possible natural catastrophic events.

The system itself and the user interface is shown in Figure . RST is planning to add current x-band METRAD software capabilities to this Ka-band hardware and result will be very valuable for early warning of natural disasters and fire hazards such as forest and agricultural field fires.

Ka band METRAD System capabilities are listed below:

- 2 KW cold cathode magnetron
- IQ and Base Moment Data logging facility
- High range and Doppler Resolution (<< 1m/sec)
- Portable, easy installation
- Extensible software
- Compatible with existing meteorological products
- Capable of adding new precipitation, wind, fire, flood products

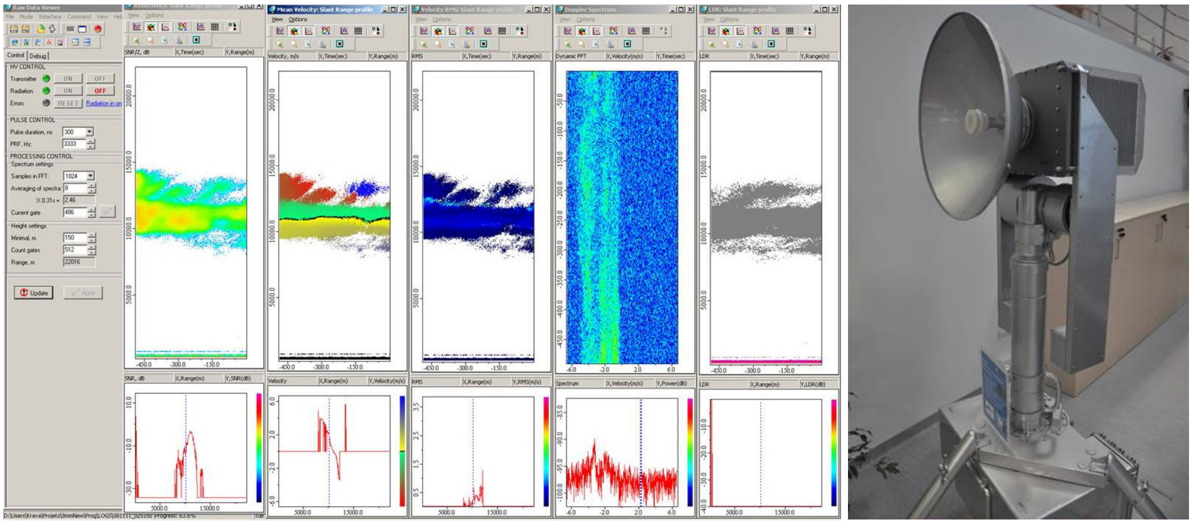


Figure 11: Ka-band METRAD System

Ka band METRAD System technical properties are also given below:

- Operating Frequency : Ka Band
- Maximum Range : 20 km
- Antenna diameter : 20 cm
- Radar angular resolution : 3^{o}
- Radar range resolution : 50 m
- Antenna scan speed : 90 ^{o}/sec
- Antenna rotation angles : $\pm 45^{o}$
- System dimensions : 40 cm x 40 cm
- Receiver noise factor : 3 dB
- Antenna gain : 36 dB

Ka band METRAD System has very unique capabilities compared to weather radars on market due to its very high working frequency. The main advantages of having a Ka band weather radar are listed below:

- High reflectivity and VIL: Calculation of rain/flood probability for a given region, taking into account temperature, pressure and humidity information
- High horizontal de-polarization rate: Determination of the layer where the rain starts, determination of the drop size and shape
- Detailed doppler velocity distribution: Allows determination of up/down wind/rain movements in vertical polarization. Thanks to the double polarization, the wind speed and direction in the higher layers are calculated.

- Detailed average width of Doppler velocity distribution: Explains pressure change, droplet distribution and properties within the scope of micro-physics movements of clouds.

CONCLUSION

RST has performed years of hard work on developing the transportable meteorological solution. In the first TÜBİTAK project, system hardware and meteorological baseline is established. METRAD II Project added advanced software capabilities to METRAD System, most of which was a success. These advanced software algorithms are now operational in X-band METRAD System, as of 2022.

The targeted METRAD III capabilities are listed below and the METRAD Roadmap from the beginning to the future is shown in Figure 12.

✓ Wind products (micro burst, wind shear and gust front)

✓ Early warning and emergency detection algorithms

  - Forest and agricultural fires early warning (smoke detection)
  - Flood prediction and early warning (algorithm design suppresses noise where rain starts/ends)

✓ Detection of biological objects (birds and vermin)

✓ Representation of all algorithm outputs on real land and sea maps

✓ Inter-changeable hydrometeor classification parameters

✓ Remote control of the system with standard software

✓ Ability to save screenshots according to customer requirements

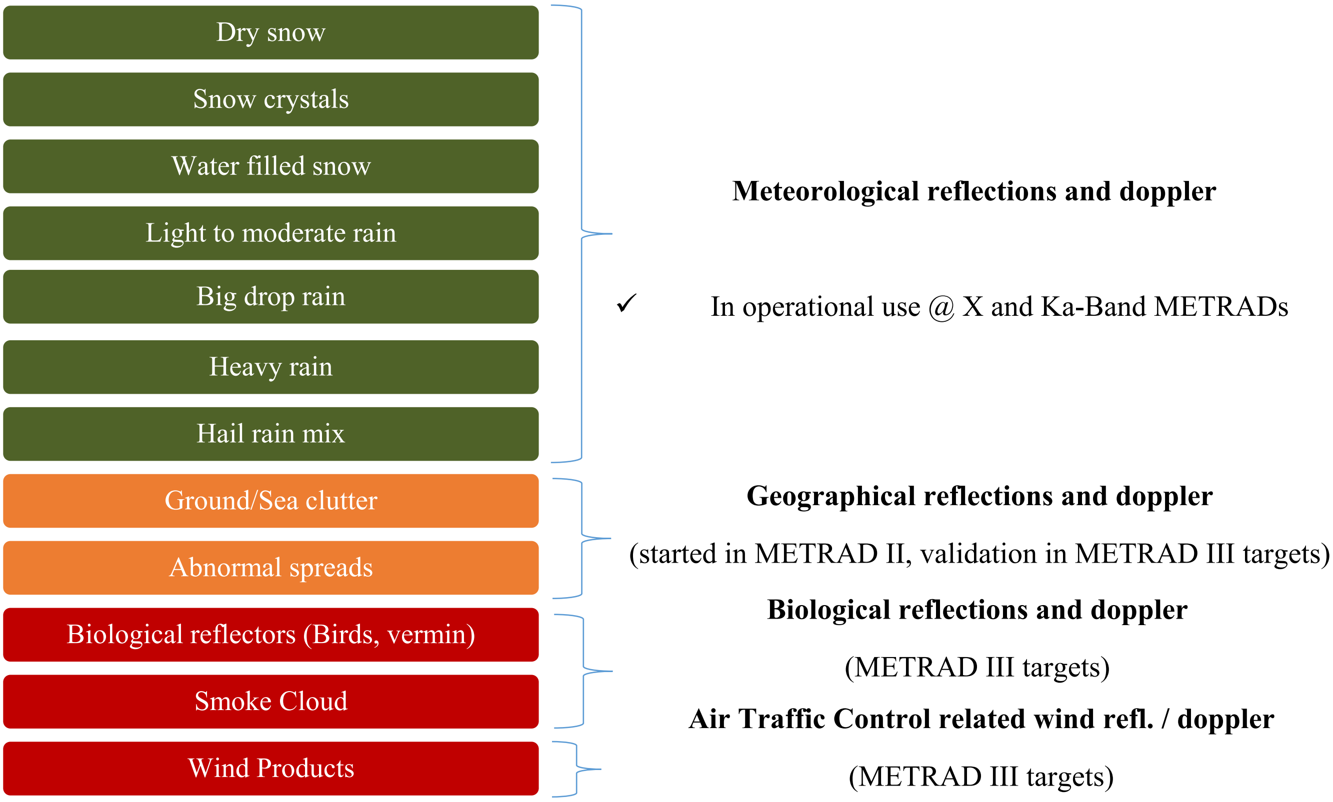


Figure 12: RST METRAD Roadmap

ACKNOWLEDGEMENTS

We hereby acknowledge all of the General Directorate of Meteorology (MGM) and the Disaster and Emergency Management Directorate (AFAD) personnel by giving us their support through years.

REFERENCES

[1] Chandarsekar V. (2004) Polarimetric Doppler Weather Radar

[2] Armib Walter Doerry (2014) Doppler Characteristics of sea clutter

[3] G. Zhang (2016) Weather Radar Polarimetry

[4] John Y. N Cho, Robert G. Hallowel, Mask E. Weber (2008) Comparative analysis of terminal wind-shear detection systems

[5] MGM (2017) Antalya Havalimanı LLWAS Requirements

Web sites:

[W-1] https://uubf.itu.edu.tr/akademik/meteoroloji-muhendisligi

A Case Study on the Analysis of Forest Fires with Remote Sensing Products and Copernicus Effis Applications: 2021 Manavgat, Antalya Fires

Sema ÇİL[1,3], Ozan PİRBUDAK[1,2]
[1]Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)
[2]Middle East Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Earth System Science
[3] Istanbul Technical University
Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Meteorological Engineering
sema.cil@itu.edu.tr; opirbudak@mgm.gov.tr

ABSTRACT

Theoretically meaning, a wildfire is an unplanned fire that burns in a natural area such as a forest, grassland, or prairie. Wildfires are often caused by human activity or a natural weather phenomenon such as lightning, so they can happen at any time or anywhere. Additionally, the risk of wildfires in a region increases in extremely dry conditions, such as drought, and during high winds. All these factors have strong direct or indirect ties to climate variability and climate change which can be mentioned as the reason for the growing size and frequency of wildfires. As a result, transportation, communications, power and gas services, and water supply can disrupt by wildfires. Furthermore, they also lead to a deterioration of the air quality, and loss of property, crops, resources, animals, and people. In this study, the forest fires that took place on July 28, 2021, in Manavgat, Antalya, will be analyzed under the scope of climate change to understand the effects of wildfires on nature by using Meteosat Second Generation (MSG) images and Copernicus the European Forest Fire Information System (EFFIS) applications.

Keywords: Wildfire, forrest fire, climate change, Meteosat, remote sensing.

Orman Yangınlarının Uzaktan Algılama Ürünleri ve Copernıcus Effıs Uygulamaları ile Analizi Üzerine Bir Çalışma: 2021 Manavgat, Antalya Yangınları

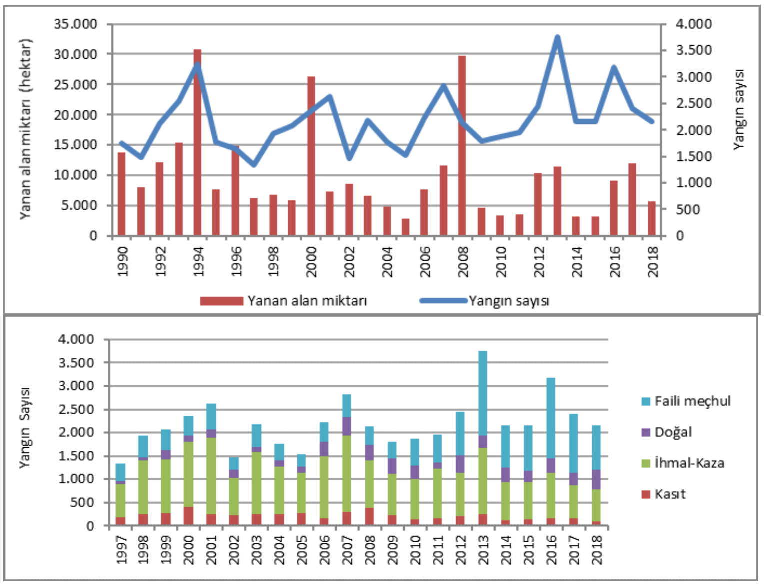
ÖZET

Teorik olarak orman yangını, orman, otlak veya çayır gibi doğal bir alanda yanan plansız bir yangındır. Orman yangınlarına genellikle insan faaliyeti veya şimşek gibi doğal bir hava olayı neden olabileceği için herhangi bir zamanda veya herhangi bir yerde olabilirler. Ek olarak, kuraklık gibi aşırı kuru koşullarda ve şiddetli rüzgarlar sırasında bir bölgede orman yangını riski artar. Tüm bu faktörlerin, orman yangınlarının artan boyutunun ve sıklığının nedeni olarak belirtilebilecek iklim değişkenliği ve küresel ısınma ile doğrudan veya dolaylı bağları vardır. Sonuç olarak, orman yangınları esnasında ulaşım, iletişim, elektrik ve gaz hizmetleri ve su temini orman yangınları nedeniyle kesintiye uğrayabilir. Ayrıca, orman yangınları hava kalitesinin bozulmasına ve mal, mahsul, kaynak, hayvan ve insan kaybına da yol açar. Bu çalışmada, Antalya ili Manavgat ilçesinde 28 Temmuz 2021 tarihinde meydana gelen orman yangınları, orman yangınlarının doğa üzerindeki etkilerini anlamak için Meteosat İkinci Nesil (MSG) uydu görüntüleri ve Copernicus Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) uygulamaları kullanılarak analiz edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Orman yangınları, iklim değişikliği, Meteosat, uzaktan algılama.

GİRİŞ

Ormanlar önemli bir doğal kaynaktır ve çevresel dengenin korunmasında önemli bir rol oynarlar. Herhangi bir alandaki bir ormanın sağlığı, o bölgede hüküm süren ekolojik koşulların gerçek bir göstergesidir. Doğal veya insan kaynaklı hadiseler ile başlayan orman yangınları, çevre, insan sağlığı (genellikle can kaybıyla sonuçlanan hadiseler) ve mülk üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. (Şekil 1).



Şekil 1: 1990-2018 yılları arasında gerçekleşen orman yangınında yanan alan miktarı ve yangın sayısı (üstte)1997 – 2018 yılları arasında çıkış nedenlerine göre yangın sayıları (altta)(©https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/)

Yangınlar, Avrupa peyzajlarında ekosistem dinamiklerinin ayrılmaz bir bileşenidir. Ancak kontrolsüz yangınlar özellikle Akdeniz bölgesinde büyük çevresel ve ekonomik zararlara neden olmaktadır. Ortalama olarak, Avrupa'da her yıl yaklaşık 65000 yangın meydana gelmekte ve yaklaşık yarım milyon hektarlık vahşi arazi ve ormanlık alanlar yanmaktadır; yanan alanın çoğu, % 85'in üzerinde, Avrupa Akdeniz bölgesinde bulunmaktadır (Ayanz vd., 2012). Bu ihtiyaçlar doğrultusunda Copernicus programı çatısı altında çalışan EFFIS, orman yangını önleme ve hazırlıktan yangın sonrası hasar analizine kadar tüm orman yangını yönetimi döngüsünü kapsayan kapsamlı bir sistemdir(Ayanz vd., 2012). Sistem, Avrupa ve Akdeniz bölgesindeki 43 ülkeye bilgi sağlamakta ve 22 Avrupa ülkesinden orman yangını olayları hakkında detaylı bilgi almaktadır. Orman yangınları hakkında zamanında ve güvenilir bilgi sağlayarak Avrupa'da orman yangını önleme ve orman yangını ile mücadeleyi destekler (McInerney vd., 2013).

Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS), Avrupa Komisyonu (EC) hizmetleri (Genel Çevre ve Ortak Araştırma Merkezi) ve ülkelerdeki ilgili yangın hizmetleri (orman yangınları ve sivil koruma hizmetleri) tarafından Sivil Koruma İzleme ve Bilgi Merkezi, Avrupa Komisyonu Hizmetleri ve Avrupa Parlamentosu gibi Avrupa kurumlarının ihtiyaçlarını karşılamak üzere geliştirilmiştir(Ayanz vd., 2012). EFFIS, modüler bir coğrafi bilgi sistemi olarak tasarlanmıştır. Orman yangını bilgilerini pan-Avrupa ölçeğinde depolayan, işleyen ve yayan Web tabanlı modüller, bir veri işleme zinciri ve mekansal veritabanlarından oluşur. Temel sistem, yangın tehlikesi tahmini ve yanmış alanların çevreleri hakkında bilgi üretmek için günlük olarak meteorolojik ve optik uydu görüntüsü verilerini işleyen yazılım araçları tarafından yönlendirilir. EFFIS ayrıca, bilim adamlarının ve politika yapıcıların geriye dönük analiz için kullanabilecekleri, Avrupa'daki orman yangını bilgilerinin tarihsel bir mekansal veri tabanına erişim sağlar(Ayanz vd., 2003).

Orman yangınlarının tespiti ve gözlemlenmesi, aktif yangınların gelişiminin takip edilmesi doğru ve en erken bir şekilde yapılması gereken bir görevdir. Meteorolojik uzaktan algılama ürünleri ve de özellikle uydu teknolojileri, bu konuda ilgili mercilere yardımcı olan önemli bir araç olarak düşünülmektedir. Zamansal ve mekansal çözünürlüğünün yüksek olması neticesinde sık ve sürekli bir şekilde görüntü alınabilen sabit yörüngeli uydular, yangınların erken tespiti ve takibi konusunda uydu tabanlı çözümler içerisinde ön sıralarda yer almaktadır. Sabit yörüngeli uydulardan alınan verilerin doğruluk ve tutarlılığı, kullanılan uydunun o bölgedeki çözünürlüğüne ve kullanılan tespit metodunda kullanılan algoritma ve kanalların ne derece hassas olduğuna bağlıdır. Bununla birlikte, uzaktan algılama ürünlerinin orman yangınlarının tespit edilmesinde yer gözlem istasyonları ve insan gözlemlerine ek olarak, sistematik ve tutarlı bir veri seti olacağı düşünülmektedir.

2002'de Meteosat İkinci Nesil'in piyasaya sürülmesi, Avrupa'nın yangından en çok etkilenen bölgesi olan Akdeniz'de jeostatik aktif yangın algılama yöntemlerini uygulamak için yeni bir olanak sundu. Meteosat uyduları, aktif olarak yanan yangınları içeren pikselleri tespit etmek ve bir dizi spektral bantta ışıma enerjisi emisyon oranlarını ölçmek için kullanılabilen uydulardır. 15 dakikalık zamansal çözünürlüğe sahip bir görüntüleme radyometresi olan Dönen Gelişmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (SEVIRI) cihazını taşır. Yangın tespitinde ise 3,9 µm spektral bant, yangın bölgesi algılamasında en önemli banttır.

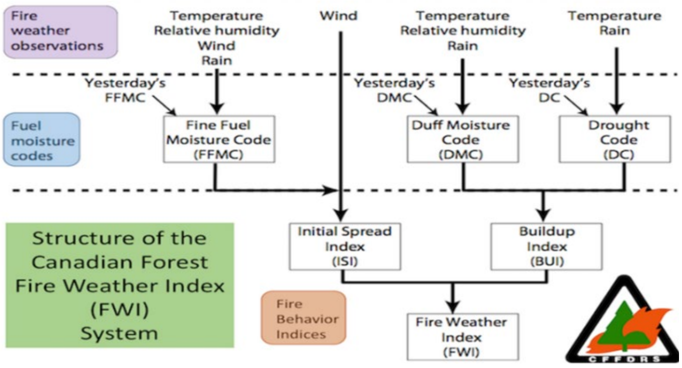
Teoride, sabit yörüngeli uydu verilerinin kullanılması kısa süreli yangınları, yeni başlayan yangınları ve güçlü bir günlük döngüye sahip yangınları tespit etme şansı verebilir. Örneğin, Avrupa'daki orman yangınları GMT ile 14.00 ile 17.00 arasında zirve yapar ve çoğunluğu 13.00 ile 19.00 arasında başlar (Catry vd., 2010). Özellikle yeni başlayan yangınların zamanında tespiti, Orman Yangını ve Sivil Koruma Hizmetlerinin karşı eylemlerini daha iyi yönetmesine, müdahale süresinin yanı sıra yangın henüz ilk aşamasındayken mücadele etmek için gereken araç ve insan kaynaklarını en aza indirmesine olanak sağlayabilir.

2021 yılı yaz döneminde ise Türkiye'de gerçekleşen orman yangınları, 28 Temmuz 2021'de Antalya'nın Manavgat ilçesinde başlamış ve Türkiye'nin birçok şehrine yayılmıştır. 12 Ağustos 2021 tarihi itibarıyla bir çoğunluğu Akdeniz bölgesinde olmak üzere, Ege, Marmara, Batı Karadeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerindeki 49 ilde çıkan 299 orman yangınında resmi kaynaklara göre 8 kişi hayatını kaybederken, binlerce hektar orman, köy ve yerleşim yeri küle dönmüş, binlerce hayvan can vermiştir. 12 Ağustos 2021 tarihinde ise Muğla'nın Köyceğiz ilçesindeki yangının da söndürülmesi ile yangınlar tamamen kontrol altına alınmıştır.

Bu çalışma kapsamında, 28 Temmuz 2021 tarihinde Manavgat'ta başlayan orman yangınları en yoğun olduğu ilk günlerde uydu, radar görüntüleri ile incelenmiş, bu incelenen görüntülere ek olarak Copernicus EFFIS uygulamaları sonuçları da analiz edilmiştir.

YÖNTEM

Bu çalışma kapsamda incelenen ilk analiz yöntemi olan EFFIS çekirdek uygulamaları, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımına dayanmaktadır. Yangın tehlikesi tahmini, Fransız Météo-France(10 km) ve ECMWF (8km) modeli ve bir ECMWF(18 km) olasılık modeli tarafından ele alınan iki deterministik tahmin modelinden hesaplanır. Bu veriler, Kanada Yangın Hava Durumu Endeksine (FWI) dayalı ortak bir Avrupa yangın tehlikesi endeksini hesaplamak için kullanılır(Ayanz vd., 2003). Şekil 2'de Kanada Orman yangın indeksi (FWI) sistemi çalışma şeması gösterilmiştir.



Şekil 2: Kanada Orman yangın indeksi (FWI) sistemi çalışma şeması

Tablo 1'de ise Yangın tehlike sınıfları ve bu sınıflar için tahmin edilen değerlerin aralıkları gösterilmiştir. Tabloda yer alan ifadeler;

- FFMC : (Fine Fuel Moisture Code) : Yanmaya Elverişli Alan Nem Kodu
- DMC (Duff Moisture Code) : Ölü Örtü Nem Kodu
- DC (Drought Code) : Kuraklık Kodu
- ISI (Initial Spread Index) : Başlangıç Yayılma İndeksi
- BUI (Buildup Index) : Geliştirme indeksi

Yangın Tehlike Sınıfları	FWI	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI
Çok Düşük	FWI<5.2	FFMC<82.7	DMC<15.7	DC<256.1	ISI<3.2	BUI<24.2
Düşük	5.2>=FWI<11.2	82.7>= FFMC <86.1	15.7>= DMC <27.9	256.1>= DC <334.1	3.2>= ISI <5	24.2>= BUI <40.7
Orta	11.2>=FWI<21.3	86.1>= FFMC <89.2	27.9>= DMC <53.1	334.1>= DC <450.6	5>= ISI <7.5	40.7>= BUI <73.3
Yüksek	21.3>=FWI<38	89.2>= FFMC <93	53.1>=DMC <140.7	450.6>= DC <794.4	7.5>= ISI <13.4	73.3>= BUI <178.1
Çok yüksek	38>=FWI<50	93>= FFMC	140.7>= DMC	794.4>= DC	13.4>= ISI	178.1>= BUI
Ekstrem	FWI>=50					

Tablo 1: Yangın tehlike sınıfları ve değer aralıkları

EFFIS uygulaması teknik altyapısı içerisinde bulunan Avrupa Yangın Veritabanı (European Fire Database), Avrupa'daki münferit yangın olayları hakkında en büyük bilgi deposudur. Avrupa ülkeleri ile Avrupa Komisyonu arasında orman yangınları konusunda uzun bir işbirliğinin nihai ürünüdür. Bugün veri tabanı, düzenli olarak yangın verileri sağlayan 22 ülkenin katkılarını sunmaktadır. Avrupa Yangın Veritabanı, her bir yangının, tümü ülkeler tarafından sağlanabilecek, ortak olarak toplanan bir dizi özelliğini içerir. Toplanan dört ana bilgi türü; yangın zamanı, yangının yeri, yangının boyutu ve yangının nedeni olarak sıralanabilir.
EFFIS uygulamalarına erişim https://effis.jrc.ec.europa.eu/ web sitesi aracılığıyla sağlanır ve orman yangınlarına dair çeşitli analizler yapmaya imkan veren menüleri bulunmaktadır.

Mevcut Durum Görüntüleyici
Avrupa ve Akdeniz bölgesindeki mevcut yangın mevsimi hakkında en güncel bilgilerin sunulduğu uygulamadır. Buna, bugünün meteorolojik yangın tehlike haritaları ve 6 güne kadar tahminler, günlük olarak güncellenen sıcak noktalar ve yangın çevreleri haritaları dahildir. Uygulamada haritalama açısında üç farklı seçenek sunulmaktadır: Human Settlement Layer, Protected Areas Layer, CCI Landcover. Tahmin kısmında ise kaynak olarak ECMWF ve Meteo-France kaynakları arasından seçim yapılabilmektedir. Mevcut yangınların ve yanmış alanların gösterimi MODIS ve VIIRS verileri ile sağlanabilmektedir. (Şekil 3)

Şekil 3: EFFIS Mevcut Durum Görüntüleyici Menüsü

NASA/NOAA Suomi Ulusal Kutup Yörüngeli Ortaklığı (SNPP) gemisinde bulunan VIIRS (Görünür Kızılötesi Görüntüleme Radyometresi Paketi), aktif yangınları tespit etmek için MODIS tarafından kullanılanlara benzer algoritmalar kullanmaktadır. VIIRS aktif yangın ürünleri, MODIS aktif yangın algılamayı tamamlayarak MODIS'e kıyasla daha iyi bir uzaysal çözünürlük sağlamaktadır. VIIRS için aktif yangın algılama pikselinin uzamsal çözünürlüğü 375 m'dir. Bu uzamasal çözünürlük sayesinde VIIRS daha küçük yangınları algılayabilmekte ve devam eden büyük yangınların çevresini belirlemeye yardımcı olmaktadır.

Mevcut İstatistik Portalı
İstatistikler ulusal düzeyde ve ayrıca 3 grup ülke, AB, AB dışı Avrupa ülkeleri ve Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri için sağlanmaktadır. (Şekil 4)

Şekil 4: EFFIS Mevcut İstatistik Portalı Menüsü

Portal, aşağıdakilerin sağlanması yoluyla mevcut yangın mevsiminin gelişimi hakkında bilgi sağlar:

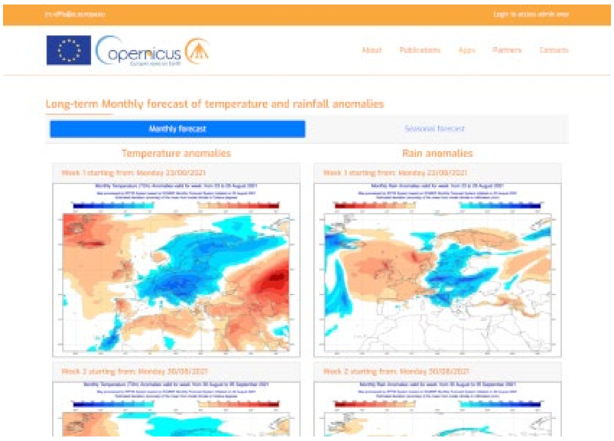
- Son 14 yılın ortalaması ile karşılaştırıldığında, yanan alanların ve yangınların sayısının mevcut istatistikleri. Mevcut yılın istatistikleri, tek bir yıl veya geçmişteki bir dönemle karşılaştırılabilir.
- Son 14 yılın ortalamasına göre yanan alanlardaki mevsimsel kümülatif eğilim ve yangın sayısı.
- Son 10 yılda (2012-2021) termal anormalliklerin ortalamasına kıyasla VIIRS sensörü tarafından algılanan termal anormalliklerin sayısı.
- Son 10 yıldaki (2012-2021) termal anormalliklerin ortalamasına kıyasla MODIS sensörü tarafından algılanan termal anormalliklerin sayısı.

Yangın Haberleri
Yangın haberleri, tüm AB ve diğer dillerde internette yayınlanan yangın haberlerini toplayan, coğrafi konumlarını belirleyen ve bir veritabanında saklayan, kullanıcının haberleri coğrafi kapsam, anahtar kelimeler vb. bazında filtrelemesine olanak tanıyan bir uygulamadır. (Şekil 5)

Şekil 5: EFFIS Yangın Haberleri Menüsü

Uzun Dönem Yangın Hava Tahmini

Avrupa ve Akdeniz bölgelerine hakim olması beklenen aylık ve mevsimlik sıcaklık ve yağış anomalileri tahminini sunan uygulamadır. Aktif yangın algılama ve hızlı hasar değerlendirmesi gibi neredeyse gerçek zamanlı uygulamalar, sıcak noktaların (aktif yangınlar) tespiti ve yanmış alanların haritalanması için NASA TERRA ve AQUA uydularında bulunan MODIS sensörü tarafından sağlanan verileri kullanır. Avrupa'nın iki tam mozaiği günlük olarak işlenmekte ve büyük yangınların (40 hektarın üzerinde) ürettiği yanmış alanlar hakkında bilgi vermektedir. (Şekil 6)

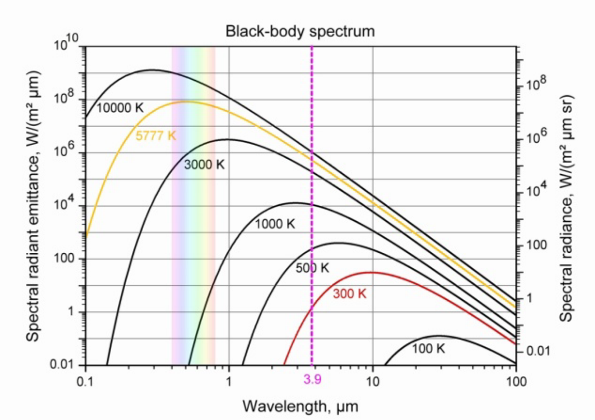


Şekil 6: EFFIS Mevcut Durum Görüntüleyici Menüsü

Ayrıca EFFIS üzerinden veri talep formu oluşturarak istenilen bölgedeki sağlanan verilere ulaşmak ve veri ve servisler bölümünden de ülkelerin her yıl için toplam yangınlarına erişim sağlayabilmek mümkündür.

Bu servislere ek olarak, EFFIS, NASA FIRMS tarafından sağlanan aktif yangın algılama sistemini kullanır (https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/). Kaynak Yönetim Sistemi için Yangın Bilgileri (FIRMS - Fire Information for Resource Management System), Aqua ve Terra uydularındaki Orta Çözünürlüklü görüntüleme spektrometresinden (MODIS) ve görünür kızılötesi görüntüleme radyometresinden (VIIRS) 3 saatlik uydu gözlemi içinde S-NPP ve NOAA 20'deki Gerçek Zamana Yakın (NRT) aktif yangın verilerini dağıtır.

Çalışmanın ikinci kısmında EUMETSAT MSG uydusu çeşitli kanallarına ait görüntüler ile EFFIS tahminleri kıyaslanmıştır. Görünür ve yakın kızılötesi aralığındaki kanallarıyla MSG, yangınların yeri ve duman bulutlarının boyutu hakkında gerçek zamanlıya yakın bilgi sağlamaktadır. Hangi kanal ile yangınların daha yi gözlemlenebileceği konusunda ise, Wien'in yer değiştirme yasası göz önünde bulundurulur. Wien'in yer değiştirme yasası, siyah bir cismin emisyonunun zirvesinin dalga boyu ile sıcaklığı arasında ters bir ilişki olduğunu belirtir. Daha öz bir ifadeyle, Wien'in yer değiştirme yasası, bir nesne ne kadar sıcaksa, radyasyonunun çoğunu yayacağı dalga boyunun o kadar kısa olduğunu gösterir.



Şekil 7: Güneş (5777K), Dünya yüzeyi (300K) ve Orman Yangınları (600 ila 1000K) için en yüksek emisyona karşılık gelen dalga boyu.

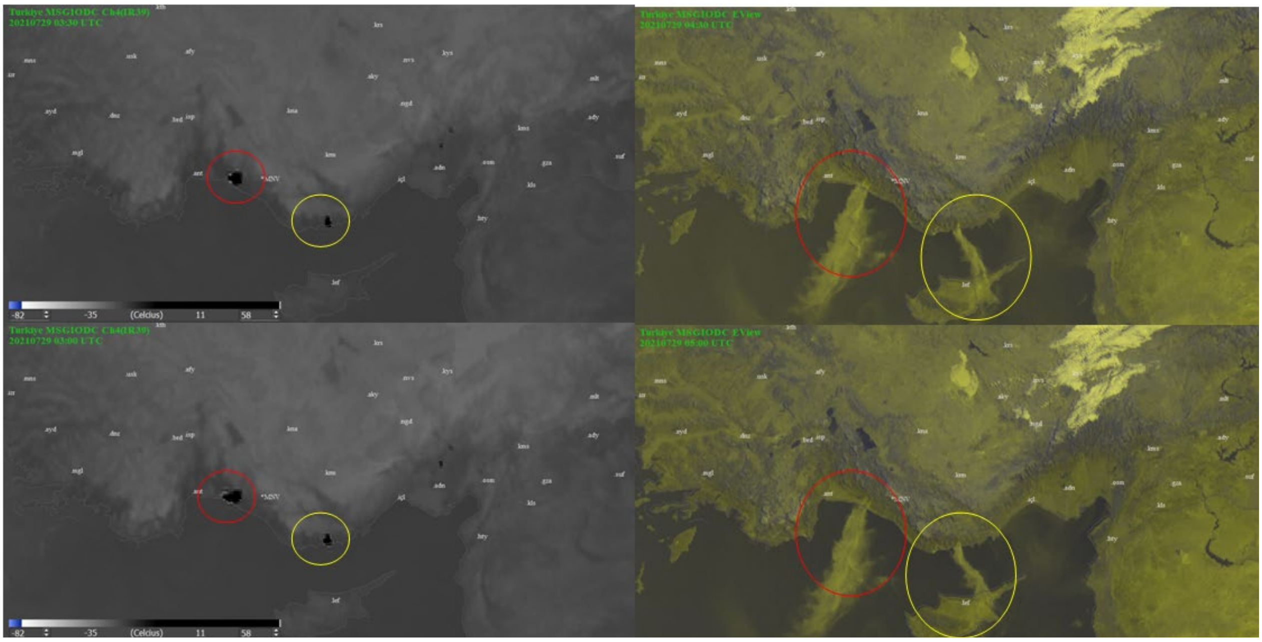
Şekil 7'de de görüleceği üzere, kesikli çizgi 3,9 µm bandını temsil eder ve Wien yasasından 3.9 µm'nin 743 K'da bir kara cismin tepe noktasına ulaştığı dalga boyu olduğu görülebilir. Bu sıcaklık bir yangının sıcaklığına karşılık gelmektedir. Bu, IR3.9 kanalının orman yangınlarını tespit etmek ve izlemek için uygun olmasının bir nedenidir.
IR 3,9 µm bandına ek olarak, Doğal Renk RGB, Yüksek çözünürlüklü görünür kanal ile üretilen Geliştirilmiş Görüntü RGB ürünü ve MODIS ürünlerinin yer aldığı görüntüler, olayın başlangıcı olan 28-29 Temmuz 2021 tarihleri için incelenmiştir.

GÖZLEM VE SONUÇLAR

28 Temmuz 2021 tarihinde, 18012 nolu Gündoğmuş Orman Deposu ve 18839 Manavgat Orman sahası otomatik gözlem istasyomnundan alınan verilere göre yerel saatle 09.30 civarında, meteorolojik olarak yangının başlamasına elverişli olan;

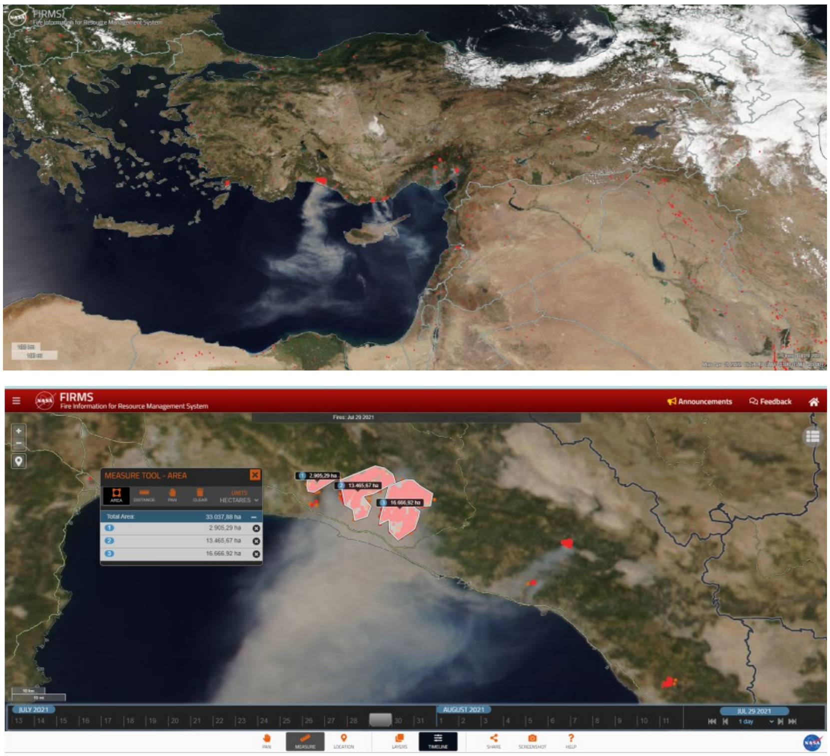
- ✓ Nem oranı %30'un altında (%13-15),
- ✓ Sıcaklık, 30 derece üstünde (33-34°C)
- ✓ Maksimum rüzgar hızı, 10 m/s

ölçümler yapılmıştır.
İlgili günlere dair uydu verileri incelendiğinde IR3.9 kanalının ve geliştirilmiş görüntü RGB ürünü 29 Temmuz tarihlerinde en yüksek sıcaklık ölçümü yaptığı görsellerden birkaçı Şekil 8'de gösterilmiştir



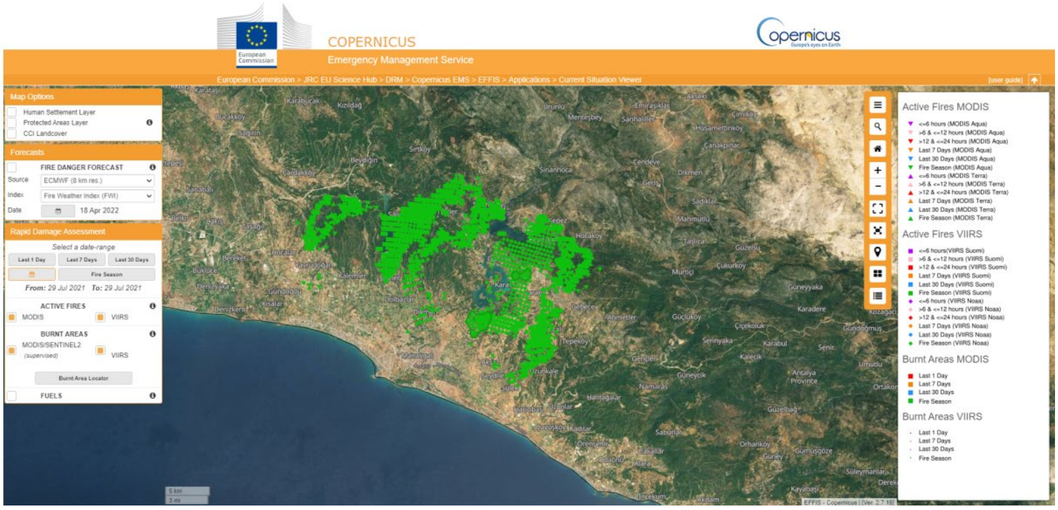
Şekil 8: Solda, IR 3.9 Kanalı görüntüsü (yanan alanlar siyah noktalar olarak belirtilmiş), Sağda, Yüksek Çözünürlüklü Kanal (HRV) ile üretilen geliştirilmiş görüntü RGB ürünü (29 Temmuz 2021 03.00-05.00 UTC)

IR 3.9 Kanalı görüntüsünde görülen siyah noktalar yangın alanlarını göstermektedir. Kırmızı ile işaretli kısım, Manavgat Gündoğmuş bölgesindeki yangınların sıcaklığının yüksekliğini ve yayıldığı alanı göstermektedir. Sağdaki görselde ise yüksek çözünürlüklü HRV kanalı ile yangın dumanları gözlemlenebilmektedir. Küçük/zayıf orman yangınlarını aşağıda görülen MODIS örneğinde olduğu gibi bir kutupsal yörüngeli uydular ile tespit etmek daha kolay olsa da, sabit yörüngeli uyduların zamansal çözünürlüğünün yüksek olması , tespit edilen yangınların daha kolay takip edilmesini sağlar.



Şekil 9: NASA FIRMS uygulaması, 29 Temmuz 2021 tarihli VIIRS, MODIS Aqua – Terra Kompozit görüntüsü (üstte), Yangın tespit edilen alanların ölçüm menüsü ile ölçülmesi sonucu elde edilen görüntü (altta)

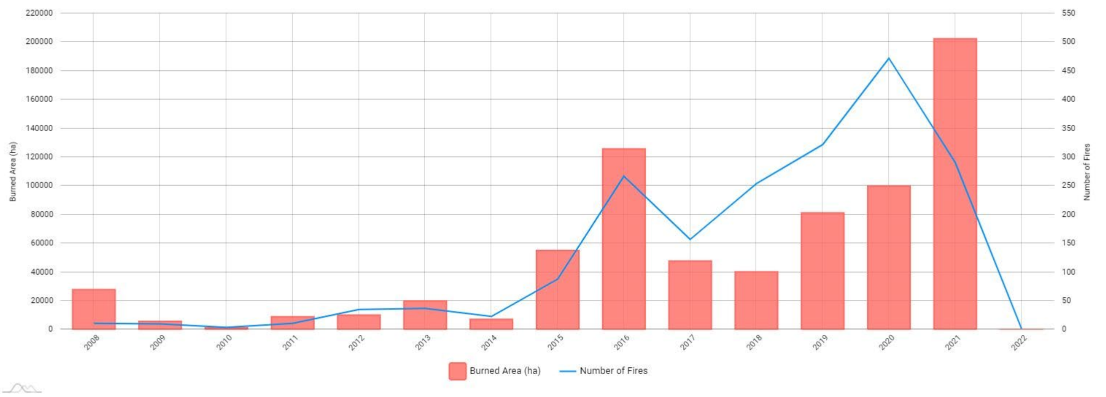
Şekil 9'da ise kutupsal yörüngeli yüksek çözünürlüklü uydulardan NPP - VIIRS ve MODIS, Aqua – Terra uydularından 24 saatte elde edilen kompozit görüntü ve ölçüm menüsü ile yanan alanların hektar cinsinden seçilerek belirlenmesi neticesinde elde edilen görüntü verilmiştir. Ölçüm menüsü ile el ile seçerek yaptığımız ölçümlerde Manavgat bölgesinde 3 farklı alanda yaklaşık 33 bin hektar alanın yandığı uydu ürünleriyle tespit edilmiştir.



Şekil 10: Copernicus EFFIS Mevcut Durum Görüntüleyici aracılığıyla 29 Temmuz 2021'deki aktif yangınların tespit edildiği alanlar

EFFIS Uygulaması, Mevcut Durum Görüntüleyici aracılığıyla 29 Temmuz tarihinde gerçekleşen yangınlar incelendiğinde ise NPP - VIIRS ve MODIS, Aqua – Terra uyduları aracılığıyla tespit edilen alanlar her bir uydu için farklı simgelerle gösterilerek belirtilmiştir. (Şekil 10) Daha önce bahsedilen MODIS yangın ürünü, MSG gibi sabit konumlu platformlardan elde edilenlerden daha yüksek çözünürlükte sıcak noktaların tespiti için çok uygundur.

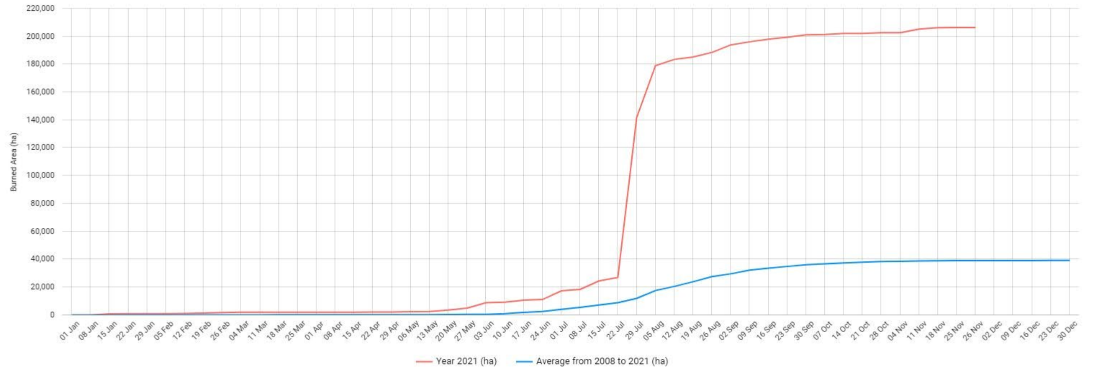
EFFIS Mevcut İstatistikler uygulamasına bakıldığında ise ülkemizde son 14 yılda gerçekleşen yangın sayısı ve bu yangınlarda yanan alanların hesaplanması sonucu elde edilen veriler grafikle gösterilmiştir. (Şekil 11)

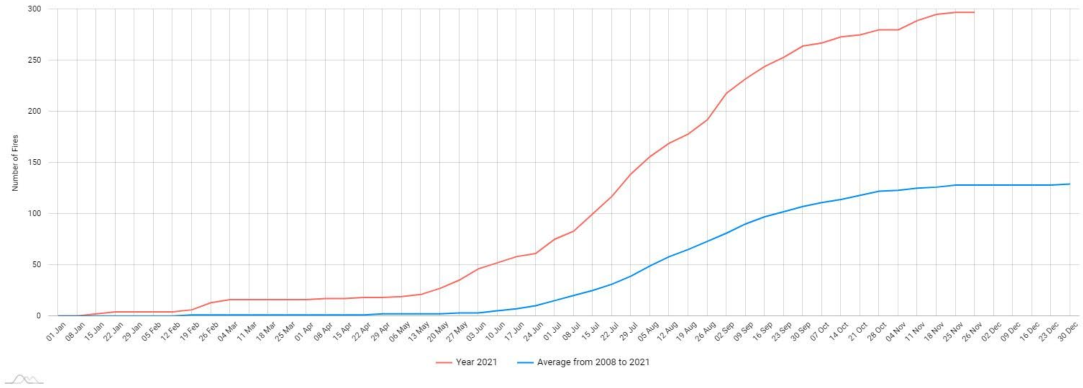


Şekil 11: EFFIS Mevcut İstatistikler – Son 14 yılda Türkiye'de gerçekleşen yangın sayısı ve yanan alan miktarı.

Bu verilere göre 2021 yılında Türkiye'de gerçekleşen toplam 291 yangında 202361 hektar alan yanmıştır. Grafiğe bakıldığında ise son yıllarda orman yangını sayısının ve yanan alanların büyüklüğün artışı, Akdeniz Havzasının iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini yaşadığını göstermektedir.

Şekil 12'de ise 2021 yılında toplam yanan alan miktarı ve yangın sayısının haftalık olarak değişimi, 2008-2021 yılları arasındaki haftalık bazda ortalamaları ile kıyaslanmıştır. Grafiklerden de görüleceği üzere yaz döneminde orman yangınlarını tetikleyici meteorolojik koşullar daha sık görüldüğünden dolayı yıllık ortalamalarda Haziran ayı itibariyle artış görülmeye başlanmaktadır. Ancak 2021 yılında 28 Temmuz 2021 tarihinde başlayan ve 12 Ağustos 2021 tarihine kadar devam eden şiddetli yangınlar, yıllık yanan ortalama alanın çok üzerinde gerçekleşmiştir. 2008 – 2021 arası Temmuz Ağustos ayı yanan alan ortalamaları yaklaşık 15000-20000 hektar iken 2021 yılında bu rakam 180000-200000 hektar alan olarak tespit edilmiştir ki bu da belirlenen ortalamanın yaklaşık 10 katıdır.





Şekil 12: EFFIS Mevcut İstatistikler – 2021 yılı yanan alan miktarının 2008-2021 yılı ortalaması ile kıyaslaması (üstte), 2021 yılında gerçekleşen yangın sayısının 2008-2021 yılı ortalaması ile kıyaslaması (altta)

Yine benzer şekilde orman yangını sayıları genel olarak Haziran ayı itibariyle artış gösterse de, 2021 yılı Temmuz sonunda Akdeniz bölgesinde gerçekleşen yangınların sayısı, 2008-2021 yılı ortalamasının 3 katından fazla miktardadır.

SONUÇ

Bu çalışmamızda yaptığımız analizler ışığında; MSG gibi ekvatordan yaklaşık ~36000km uzaklıkta yörüngede yer alan bir başka deyişle sabit yörüngeli uydu ürünleri, orman yangınları gözleminde etkili bir yöntem olmakla birlikte, her ne kadar zamansal çözünürlükleri yüksek olsa da, (~15dk) mekansal çözünürlüklerinin düşük olması (~3km) sebebiyle yer gözlemleri ile desteklenmeden yangınların erken tespitinde maalesef önemli rol oynayamamaktadır. 2021 yaz döneminde ülkemizde gerçekleşen yangınların kısa vadeli sonuçları doğal afet niteliğinde değerlendirilmekte olup, uzun vadeli sonuçlarının meteorolojik, ekolojik ve iklimsel alanlar dahil bir çok bilimsel alanda analiz edilmesinin gerekliliğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde Meteoroloji Genel Müdürü Volkan Mutlu COŞKUN başta olmak üzere, Tahminler Daire Başkanı Tayfun Dalkılıç'a, Uzaktan Algılama Şubesi müdürü Dr. Kurtuluş

ÖZTÜRK'e ve veri temini konusunda Meteorolojik Veri İşlem Daire Başkanlığı'na yardımları için teşekkür ederiz. Ayrıca bu sempozyumu düzenlemedeki özverisi ve desteği için İstanbul Teknik Üniversitesi, Meteoroloji Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Doç Dr. Ahmet ÖZTOPAL hocamıza da teşekkürlerimizi iletmek isteriz.

KAYNAKÇA

Catry, F. X., Rego, F. C., Silva, J. S., Moreira, F., Camia, A., Ricotta, C., & Conedera, M. 2.1 Fire Starts and Human Activities. *Towards Integrated Fire Management Outcomes of the European Project Fire Paradox, 9.*

F. Sunar & C. Özkan (2001) Forest fire analysis with remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing, 22:12*, 2265-2277.

McInerney, D., San-Miguel-Ayanz, J., Corti, P., Whitmore, C., Giovando, C., & Camia, A. (2013). Design and function of the European forest fire information system. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 79(10)*, 965-973.

Sabuncu, A., & Özener, H. (2019). Uzaktan algılama teknikleri ile yanmış alanların tespiti: İzmir Seferihisar orman yangını örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5*(2), 317-326.

San-Miguel-Ayanz, J. & Schulte, Ernst & Schmuck, Guido & Camia, Andrea & Strobl, Peter & Libertà, Giorgio & Giovando, Cristiano & Boca, Roberto & Sedano, Fernando & Kempeneers, Pieter & McInerney, Daniel & Withmore, Ceri & Oliveira, Sandra & Rodrigues, Marcos & Durrant, Tracy & Corti, Paolo & Oehler, Friderike & Vilar, Lara & Amatulli, Giuseppe. (2012). Comprehensive Monitoring of Wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). 10.5772/28441.

San Miguel Ayanz, J., Barbosa, P., Schmuck, G., Liberta, G., Schulte, E., & Gitas, I. Z. (2003). Towards a coherent forest fire information system in Europe: the European Forest Fire Information System (EFFIS). *Environmental Monitoring in the South-Eastern Mediterranean Region Using RS/GIS Techniques; Gitas, IZ, San Miguel Ayanz, J., Eds*, 5-16.

Tekeli, A. E., Sönmez, İ., Erdi, E., Arslan, M., Çukurçayır, M. L., & Demir, F. (2007). Orman yangınlarının uzaktan algılama teknikleri ile tespit çalışmaları. *TMMOB Afet Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 5*(7).

Web siteleri:

1- https://emergency.copernicus.eu/mapping/sites/default/files/files/Day2_01_JointSession_Fire_EFFISoverview.pdf Erişim: 19.04.2022
2- https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis_current_situation/ , Erişim: 19.04.2022
3- https://www.c2es.org/content/wildfires-and-climate-change/ , Erişim: 19.04.2022
4- https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#t:adv;d:2021-08-06;l:noaa20-viirs,viirs,modis_a,modis_t,country-outline,noaa20_crtc;@34.3,38.1,6z , Erişim: 19.04.2022
5- http://www.eumetrain.org/data/3/30/navmenu.php?tab=5&page=1.5.0 , Erişim: 19.04.2022

https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/orman-yanginlari-i-85850 , Erişim: 19.04.2022

Time-Frequency Analysis of Remote Sensing and Meteorological Data Based Drought Indices

Semra KOCAASLAN[1], Nebiye MUSAOĞLU[2]
[1]İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü
kocaaslan@itu.edu.tr; musaoglune@itu.edu.tr

ABSTRACT

In recent years, we have been faced with drought events, which is one of the main problems of global climate change, more frequently. It is a very important and difficult process to determine the characteristics of drought such as frequency, severity, duration and impact area. Furhermore; it is of vital importance in terms of predicting possible risks that may occur in the future based on past drought events, establishing an early warning system and taking necessary precautions. Also, drought is an event that affects large areas and remote sensing data is an important resource for studies to be carried out for this purpose. Satellite images with different resolutions allow the changes caused by drought to be determined at different scales and monitored as time series. In this study, the usability of freely accessible satellite data in drought monitoring and evaluation studies was investigated. In this direction, the Vegetation Condition Index (VCI) which is the input of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) produced from the satellite data and the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) obtained from the in-situ data. The frequency analysis of both satellite-based and meteorological station-based indices has been done. The relationship of time series with each other was examined. In the analyzes performed using the Cross Wavelet Transform (XWT) method, it was observed that the VCI was in phase harmony with the SPEI-3 in general throughout the series, and it had a 12-16 month resonance in the period from 2007 to 2011.It was concluded that there is a strong consistency between the time series of these indices.

Keywords: Drought, remote sensing, NDVI, VCI, SPEI.

Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Verilerden Elde Edilen Kuraklık İndislerinin Zaman-Frekans Analizi

ÖZET

Küresel iklim değişikliğinin başlıca sorunlarından biri olan kuraklık olayları ile son yıllarda daha sık yüzleşmekteyiz. Kuraklığın frekans, şiddet, süre ve etki alanı gibi niteliklerini belirlemek oldukça önemli ve zor bir süreçtir. Bununla birlikte; geçmişte yaşanan kuraklık olaylarından yola çıkılarak gelecekte meydana gelebilecek muhtemel risklerin öngörülmesi, erken uyarı sistemi oluşturulması ve gerekli tedbirlerin alınması bakımından hayati önem taşır. Kuraklık, geniş alanları etkisi altına alan bir olaydır ve uzaktan algılama verileri bu amaçla yapılacak çalışmalarda önemli kaynak oluşturur. Farklı çözünürlük özelliklerine sahip uydu görüntüleri kuraklığın neden olduğu değişimlerin farklı ölçeklerde belirlenmesine ve zaman serisi olarak izlenmesine olanak sağlar. Bu çalışmada; ücretsiz olarak erişilebilen uydu verilerinin kuraklığı izleme ve öngörme çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu doğrultuda, uydu verilerinden üretilen Normalize Edilmiş Bitki Fark İndisinin (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI) girdi olduğu Bitki Durum İndisi (Vegetation Condition Index-VCI) ile yersel meteorolojik istasyon verilerinden elde edilen Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisinin (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index-SPEI) zaman serilerinin birbiriyle ilişkisi irdelenmiştir. Çapraz Dalgacık Dönüşümü (Cross Wavelet Transform-XWT) yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde VCI'nin SPEI-3 ile tüm seri içerisinde genel olarak faz uyumu olduğu, 2007'den 2011'e kadarki dönem içinde ise 12-16 aylık bir rezonansa sahip olduğu görülmüş olup, önemli bir tutarlılığa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, uzaktan algılama, NDVI, VCI, SPEI.

GİRİŞ

Kuraklık doğası gereği diğer afetlere göre anlaşılması zor karmaşık bir afettir. Sel, fırtına, hortum, heyelan, deprem gibi afetlerden farklı olarak etkileri hemen ortaya çıkmaz. Geniş alanları kapsayan, yavaş yayılan, sessiz bir afettir. Bu nedenle başlangıcını, süresini, şiddetini belirlemek güçtür (Wilhite vd., 2008). Öte yandan, kuraklığın frekans, şiddet, süre ve etki alanı gibi niteliklerini belirlemek, geçmişte yaşanan kuraklık olaylarından yola çıkılarak gelecekte meydana gelebilecek muhtemel risklerin öngörülmesi, erken uyarı sistemi oluşturulması ve gerekli tedbirlerin alınması bakımından hayati önem taşır.

Kuraklığın tespiti için geleneksel olarak kullanılan meteoroloji verilerine dayalı istasyon bazlı indisler kullanılmaktır. Ancak, bu indislerin hesaplanması için çoğunlukla uzun yıllar veri seti gerektiğinden, verilerin kesintiye uğraması (sürekli olmayan), yersel gözlem istasyonlarının zaman zaman işlevsiz kalması gibi durumlarda veya seyrek istasyon dağılıma sahip alanlar için kurak koşulların bölgesel olarak kapsamlı izlenmesi kısıtlı hale gelir (Karnieli vd., 2010; Rhee vd.. 2010).

Bununla birlikte, kuraklık çoğunlukla geniş alanlar üzerinde etkili olduğundan uzaktan algılama verileri bu amaçla yapılacak çalışmalarda önemli kaynak oluşturur. Farklı çözünürlük özelliklerine sahip uydu görüntüleri kuraklığın neden olduğu değişimlerin farklı ölçeklerde belirlenmesine ve zaman serisi olarak izlenmesine olanak sağlar (Özcan vd., 2018, Kocaaslan vd., 2021).

Bu çalışmada; ücretsiz olarak erişilebilen uydu verilerinin kuraklık izleme ve öngörme çalışmalarında kullanılabilirliği araştırılmış, uzaktan algılama ve meteorolojik verilerden elde edilen kuraklık indislerinin zaman serilerinin frekans analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda, uydu verilerinden üretilen Normalize Edilmiş Bitki Fark İndisinin (NDVI) girdi parametre olduğu Bitki Durum İndisi (VCI) ile yersel meteorolojik istasyon verilerinden elde edilen Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisinin (SPEI) zaman serilerinin birbiriyle ilişkisi Çapraz Dalgacık Dönüşümü (XWT) yöntemi ile irdelenmiştir.

VERİ VE YÖNTEM

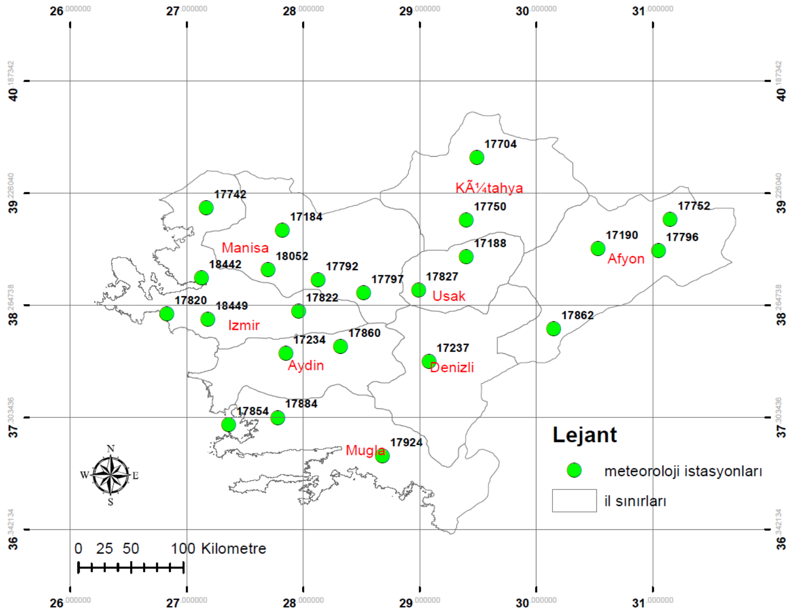
Veri

Çalışmada uydu veri kaynağı olarak, geniş alanları tarama kabiliyeti nedeniyle 1-2 günlük aralıklarla 2000'lerden bu yana yüksek zamansal ve spektral küresel veri sağlayan MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) uydusu Terra optik sensörü seçilmiştir. MODIS'in vejetasyon indisleri (VI'lar), fenolojik değişikliklerin tespiti, bitki örtüsü biyofiziksel parametrelerinin üretilmesi, fotosentetik bitki örtüsü aktivitesini izlenmesi gibi uygulamaları mümkün kılarken küresel ve bölgesel ölçekte mekansal ve zamansal olarak karşılaştırılmalarına da olanak sağlar (Huete vd., 1999; Didan vd., 2015). Uzaktan algılamaya dayalı kuraklık indisinin hesaplanmasında girdi parametre olarak Normalize Edilmiş Bitki Fark İndisi (NDVI) ele alınmış olup, MODIS'in vejetasyon indislerini (Vegatation Indices-VI) içeren 2000-2018 yılları aralığında 1 km çözünürlüklü 16 günlük kompozit MOD13A2 Sürüm 6 ürünü kullanılmıştır. Elektromanyetik spektrumun görünür kırmızı ve yakın kızılötesi bantlarının bir oranı olan NDVI aşağıdaki eşitlikle elde edilir;

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \tag{1}$$

R_{NIR} kızılötesi bandı ve R_{RED} kırmızı bandı ifade etmektedir. Bu çalışmada sırasıyla MODIS'in 1 (620–670 nm) ve 2 (841–876 nm) bantlarından elde edilen veriler kullanılmıştır (Web-1). Sağlıklı bitki örtüsünün varlığına göre (-1) ile (+1) aralığında değerler alır. Hesaplanan oran sağlıklı bitki örtüsünün varlığına göre (-1) ile (+1) aralığında değerler alır ve eşik değerler belirlenerek arazi hakkında bilgi çıkartılır.

Uydu verilerinden elde edilen kuraklık indisleriyle karşılaştırmalı olarak kullanılacak SPEI uygulaması için uzun yıllar veri seti gerektiğinden 1980-2018 yılları aralığında çalışma alanı olarak seçilen Ege Bölgesini kapsayan 23 adet meteoroloji gözlem istasyonu seçilmiştir (Şekil 1). Bu istasyonlara ilişkin, evapotranspirasyonun hesaplanmasında ve meteorolojik indisin elde edilmesinde gerekli girdi parametreler olan aylık toplam yağış (mm=kg/m²), aylık ortalama sıcaklık verileri (°C), coğrafi koordinatları içeren veri seti Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının Ege Bölgesi üzerindeki mekânsal dağılımı.

Yöntem

Bitki Durum İndisi

VCI, NDVI indisinin normalize edilmesi ilkesine dayanan uydu bazlı bir kuraklık indisidir (Kogan, 1990). Özellikle homojen olmayan alanlarda bitki örtüsü üzerindeki iklimsel farklılıklardan kaynaklanan etkileri minimize etmek için tasarlanmıştır (Kogan vd., 1995; Yağcı vd. 2015). Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$VCI = 100 * \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \qquad (2)$$

$NDVI_i$: her bir pikselin mevcut NDVI değeri,

$NDVI_{min}$: periyod içindeki (multi-year) minumum değer

$NDVI_{max}$: periyod içindeki (multi-year) maksimum değer

VCI değerleri 0 ile 1 arasında değişir, düşük değerler stresli bitki örtüsü koşullarını, orta değerler uygun koşulları ve yüksek değerler optimal veya normalin üzerindeki koşulları temsil eder. 0 ile 1 aralığındaki oransal değerler 100 çarpanıyla yüzdelik hale getirilir. 0 ile 100 aralığında değişen bu değerler için 40 sınırdeğer (threshold) olup, altındaki değerlerde kuraklığa eğilim söz konusudur (Kogan, 2001; Yagci vd., 2013). Çok zamanlı NDVI verileri ile elde edilen VCI, bitki örtüsünün sağlık durumuna ve kurak dönemlerde verdiği tepkilere ilişkin önemli bilgiler sunar. İndislerin değer aralılarına göre kuraklık sınıflandırması Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. VCI kuraklık sınıflandırması (Kogan, 1997).

Kuraklık Sınıfı	İndis Değeri
Aşırı Kurak (Extreme Drought)	0 -10
Şiddetli Kurak (Severe Drought)	10 - 20
Orta Kurak (Moderate Drought)	20 - 30
Hafif Kurak (Mild Drought)	30 - 40
Kuraklık Yok (NonDrought)	>40

Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi

SPEI, kuraklığı değerlendirmek için yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki iklimsel dengeyi hesaba katarak Vicente-Serrano ve ark. (2010) tarafından geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan Standartlaştırılmış Yağış İndisinden (SPI) farklı olarak yağışla birlikte sıcaklık parametresi de hesaba katılır.

1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık çoklu zaman ölçeklerinde hesaplanabilir ve negatif değerler kurak dönemleri gösterir (Begueria vd., 2014). Bitki örtüsünün evapotranspirasyonu da göz önünde bulundurduğundan tarımsal kuraklık olaylarının izlenmesi ve karakterize edilmesi bakımından etkili bir yöntemdir. Aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

$$D_i = P_i - PET_i \tag{3}$$

P_i; aktüel aylık yağış miktarını,

PET_i; potansiyel evapotranspirasyonu,

D_i; aylık yağış miktarı ile potansiyel evapotranspirasyon arasındaki farkı ifade eder.

PET değeri, genellikle Thornthwaite, Penman-Monteith veya Hargreaves yaklaşımlarıyla hesaplanabilir. Bununla birlikte; diğer yöntemler ilave pek çok veri gerektirdiğinden, daha basit ve etkili olan Thornthwaite yöntemi (Thornthwaite,1948) PET değerinin hesaplanmasında sıklıkla tercih edilmektedir (Vicente-Serrano vd., 2017). Bu çalışma için de aylık PET değerleri Thornthwaite yaklaşımı ile R yazılımı aracılığıyla elde edilmiştir.

SPEI, belirli bir (i) ayındaki D_i'nin aşma olasılığına (Pr) bağlı standartlaştırılmış bir değerdir ve eşitlikle elde edilebilir;

$$\mathrm{SPEI} = \mathrm{W} - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 - d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3} \tag{4}$$

$$\mathrm{W} = \sqrt{-2ln(Pr)} \quad pr \leq 0.5 \tag{5}$$

$$Pr = 1 - \mathrm{F}(x) \tag{6}$$

C_0 = 2.515517, C_1 = 0.8022853, C_2 = 0.010328, d_1 = 1.432788, d_2 = 0.189269 ve d_3 = 0.001308 katsayıları ile SPEI elde edilir (Vicente-Serrano vd., 2010). $Pr > 0,5$ olduğunda, Pr, $1 - Pr$ olarak değiştirilir ve elde edilen SPEI'nin işareti tersine çevrilir (Danandeh Mehr vd., 2020). SPEI metoduna göre indis değerlerinin karşılık geldiği kuraklık sınıfları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. SPEI yöntemine göre kuraklık sınıflandırması (Li vd., 2015).

Kuraklık Sınıfı	İndis Değeri
Aşırı Nemli (Extremely Wet)	2.0+
Çok Nemli (Very Wet)	1.5 ile 1.99
Orta Nemli (Moderately Wet)	1.0 ile 1.49
Normal Civarı (Near Normal)	-0.99 ile 0.99
Orta Kurak (Moderately Dry)	-1.0 ile -1.49
Şiddetli Kurak (Severely Dry)	-1.5 ile -1.99
Aşırı Kurak (Extremely Dry)	-2 ve daha az

Zaman Frekans Analizleri

Çalışmada Bitki Durum İndisi ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi serilerinin zaman frekans analizi Çapraz Dalgacık Dönüşümü yöntemi ile yapılmıştır.

Çapraz Dalgacık Dönüşümü

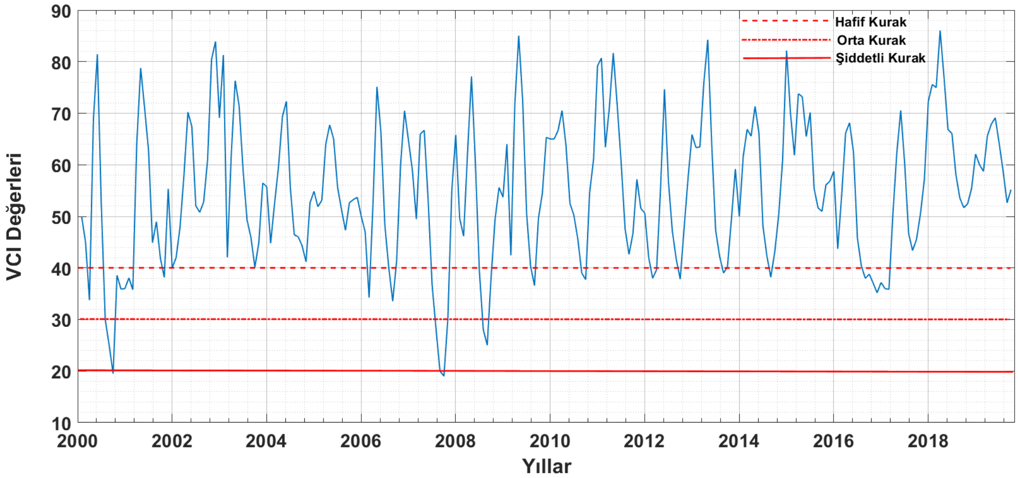
Çapraz Dalgacık Dönüşümü (Cross Wavelet Transform-XWT) iki zaman serisi arasındaki korelasyonun değerlendirilmesi sağlayan etkili bir analiz yöntemidir. Bu yönteminin amacı, ortak yüksek güç gösteren zaman serilerinin zamandaki frekans bölgelerini bulmaktır (Grinsted vd., 2004). Bu yöntemle faz yapısı ve ayrıntıları, zaman alanında ve frekans alanında incelenebilir. X_n ve Y_n dizilerinin sürekli dalgacık dönüşümü sırasıyla $W_n^X(s)\ ve\ W_n^Y\ (s)$ dir. XWT ise şöyle tanımlanır;

$$W_n^X\mathrm{Y}(s) = W_n^X(s)W_n^{Y\,*}(s) \tag{10}$$

$W_n^X Y(s)$ fonksiyonunun karmaşık argümanı olan $arg(W_n^X Y(s))$ zaman frekans alanındaki $\mathrm{W_n^X}(s)$ ve $W_n^Y(s)$ dizisi arasındaki yerel faz bilgisini yansıtır. (Xn ve Yn) dizileri aynı fazdaysa, faz okları sağa işaret eder, anti-faz ise solu işaret eder, Xn Yn'den öndeyse 90 derece aşağıyı gösterir ve Xn, Yn'den gerideyse 90 derece yukarıyı gösterir (Qin vd., 2014).

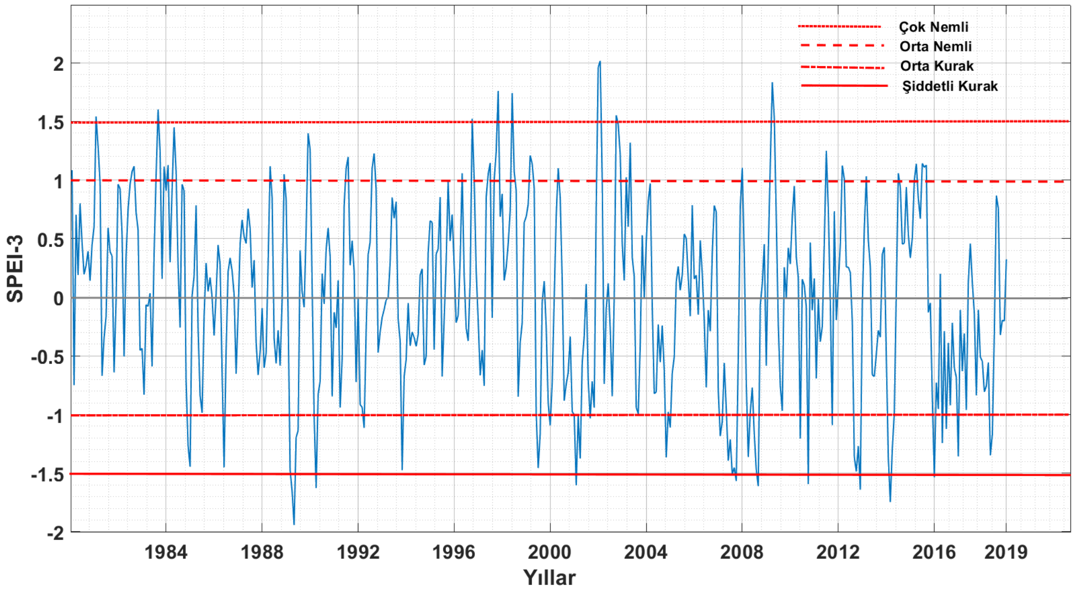
SONUÇ VE ÖNERİLER

Uydu verilerinin temin edilmesi, indisin hesaplanması ve tüm diğer işlem adımları bulut tabanlı Google Earth Engine (GEE) platformunda Java kodlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Temsili çalışma alanı olarak seçilen Ege Bölgesi için GEE platformunda VCI indisinin araştırma yılları (2000-2018) içerisindeki aylık değerleri hesaplanmıştır ve bu indise ait zaman serisi oluşturulmuştur. Oluşturulan zaman serisi bir sonraki aşama ve analiz için Matlab programına aktarılmıştır. VCI indisinin zaman serisi Tablo 1'e göre yapılan kuraklık sınıflandırması ile Şekil 2'de verilmiştir. Bu sınırlara göre, literatüre geçmiş kurak yıllar olarak bilenen 2000, 2001, 2007 ve 2008 aralığında orta ve/veya şiddetli kurak yıllar olarak öne çıktığı görülmektedir.



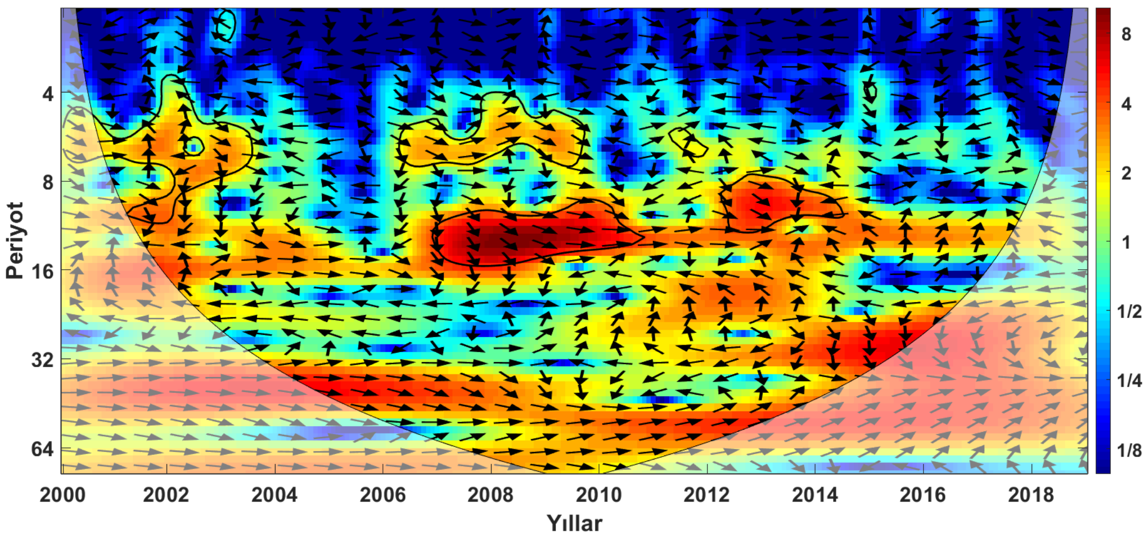
Şekil 2. VCI zaman serisi ve kuraklık sınıfları.

Diğer yandan, SPEI değerleri, 1-aylık (SPEI-1), 3-aylık (SPEI-3), 6-aylık (SPEI-6), 9-aylık (SPEI-9) ve 12 aylık (SPEI-12) olarak hesaplanmıştır. R yazılımdan elden edilen sonuçlar Matlab programına aktarılıp, 23 istasyonun ortalaması alındıktan sonra, 1980-2018 yıllarına ait zaman serileri oluşturulmuştur. Hesaplanan SPEI zaman serileri, frekans ve korelasyon analizleri için kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Şekil 3, SPEI-3 için oluşturulan zaman serisini göstermektedir. Kuraklık sınıfları Tablo 3'teki sınırlara göre belirtilmiştir.



Şekil 3. SPEI-3 zaman serisi ve kuraklık sınır değer aralıkları.

Şekil 3'te verilen SPEI-3 sonucuna göre; 1989-1990 yıllarının şiddetli kurak, VCI sonuçları ile örtüşen 2000-2001, 2007-2008 yıllarının orta ve/veya şiddetli kurak yıllar olarak, 2012-2013 yıllarının yine şiddetli kurak yıllar ve 2016 yılının ise orta ve/veya şiddetli olduğu görülmektedir.



Şekil 4. SPEI-3 ve VCI arasındaki Çapraz Dalgacık Dönüşüm analiz sonucu. (Oklar, seriler arasındaki faz ilişkisini gösterir. Okların yönüne göre sağa: faz içi; sola: anti-faz; aşağı yönlü: seri-1 90 dereceyle seri-2'nin önünde; yukarı yönlü: seri-2 90 dereceyle seri-1'in önünde anlamına gelmektedir.) (kırmızı: enerji yüzdesi maksimum olduğunda gözlemlenen durumu, koyu mavi: enerji yüzdesinin minimum olduğu durumu yansıtır.)

SPEI ve VCI zaman serilerinin kesişim dönemi olan 2000-2018 yılları aralığında yapılan Çapraz Dalgacık Dönüşüm analiz sonucu Şekil 3'teki güç spektrumu üzerinde verilmiştir. Yapılan analize göre; SPEI ve VCI zaman serilerinin 2007 ile 2011 yılları aralığında yüksek enerji yoğunluğunun bulunduğu (siyah konturla çevrili koyu kırmızı alan) alanda 12-16 aylık kayda değer bir rezonans süresine sahip olduğu görüşmüştür. Bahsedilen dönemde, bu yıllarda esas olarak faz içinde oldukları ve her iki zaman serisinin (VCI ve SPEI) genel itibariyle de birbirini tüm periyot içinde takip ettiği anlaşılmaktadır. Diğer bir deyişle, bu iki farklı veri kaynağından üretilen indisin önemli bir tutarlılığa sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Uydu tabanlı kuraklık indisleri, kuraklık olaylarının alansal ve zamansal olarak izlenmesi ve değerlendirmesi için önemli araçlardır. Bu çalışmada ise seçilen örnek bölge için uydu verilerinden üretilen Bitki Durum İndisi ile yersel meteorolojik istasyon verilerinden elde edilen SPEI zaman serilerinin güçlü bir korelasyon içinde olduğu ortaya konmuştur. Bu bağlamda, uzaktan algılamaya dayalı yöntemler ile Türkiyedeki kuraklık izleme sistemi ve yönetiminin verimliliğini artırmak mümkündür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, meteoroloji istasyon verilerinin bilabedel temini konusunda Meteoroloji Genel Müdürlüğüne, uydu verilerine tamamen ücretsiz açık erişime sunan Google Earth Engine platformu sağlayıcılarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Beguería, S., Vicente-Serrano, S. M., Reig, F., and Latorre, B., 2014. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring, *International Journal of Climatology*, vol. 34, no. 10, 3001-3023.

Danandeh Mehr, A., Sorman, A. U., Kahya, E., & Hesami Afshar, M., 2020. Climate change impacts on meteorological drought using SPI and SPEI: case study of Ankara, Turkey. *Hydrological Sciences Journal,* 65(2), 254-268.

Grinsted, A., Moore, J. C., & Jevrejeva, S., 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear processes in geophysics,* 11(5/6), 561-566.

Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., ... & Goldberg, A., 2010. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. *Journal of Climate,* 23(3), 618-633.

Kocaaslan, S., Musaoğlu, N., & Karamzadeh, S. (2021). Evaluating Drought Events by Time-Frequency Analysis: A Case Study in Aegean Region of Turkey. *IEEE Access*, 9, 125032-125041.

Kogan, F.N., 1990. Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1405–1419.

Kogan, F. N., 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*,15:91–100.

Kogan, F.N., 1997.Global drought watch from space. *Bull. Am. Metor. Soc.*, 78, 621–636.

Kogan, F. N., 2001. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(9), 1949–1964.

Li, X., He, B., Quan, X., Liao, Z. and Bai, X., 2015. Use of the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) to characterize the drying trend in southwest China from 1982–2012. *Remote Sensing*, 7(8), pp.10917-10937.

Özcan, O, Musaoğlu, N., Türkeş, M. 2018. Assessing vulnerability of a forest ecosystem to climate change and variability in the western Mediterranean sub-region of Turkey, *Journal of Forestry Research*, 29(3):709–725.

Qin, X., Cai, F., Dong, X., 2014. Cross wavelet analysis for the time–frequency effects of money supply and consumption volatility. *Int. J. Appl. Math. Stat*., 52 (7), 90–98.

Rhee, J., Im, J., & Carbone, G. J., 2010. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 114(12), 2875-2887.

Thornthwaite CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev*. 38: 55–94.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. and López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), pp.1696-1718.

Vicente-Serrano, S.M., Tomas-Burguera, M., Beguería, S., Reig, F., Latorre, B., Peña-Gallardo, M., Luna, M.Y., Morata, A. and González-Hidalgo, J.C., 2017. A highresolution dataset of drought indices for Spain. *Data*, 2(3), p.22.

Web-1: https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006, erişim tarihi 15.09.2018.

Wilhite, D.A., 2008. Encyclopedia of Water Science, Second Edition, Volume I-II: Drought, Taylor & Francis Press, 215-217.

Yagci, A. L., L. Di, and M. Deng, 2013. The Effect of Land-Cover Change on Vegetation Greenness-Based Satellite Agricultural Drought Indicators: A Case Study in the Southwest Climate Division of Indiana, USA. *International Journal of Remote Sensing* 34 (20):6947–6968.

Yagci, A. L., Di, L., & Deng, M., 2015. The effect of corn–soybean rotation on the NDVI-based drought indicators: a case study in Iowa, USA, using Vegetation Condition Index. *GIScience & Remote Sensing*, 52(3), 290-314.

Crop Water Stress Index Estimation by Remote Sensing in the Mediterranean Region of Turkey

Mahmut ÇETİN[1], Hakan AKSU[2], Omar ALSENJAR[1], Muhammet Said GÖLPINAR[1], Mehmet Ali AKGÜL[3]
[1]Cukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Adana, Turkey
[2]Samsun University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Meteorological Engineering, Samsun, Turkey
[3]The Sixth Regional Directorate of State Hydraulic Works, Adana, Turkey
mcet64@cu.edu.tr; hakan.aksu@samsun.edu.tr; **corresponding-author**- oalsenjar@student.cu.edu.tr; sgolpinar@cu.edu.tr; mehmetaliakgul@gmail.com

ABSTRACT

Crop Water Stress Index (CWSI) is a tool for irrigation scheduling and assessment of crop yield response to crop water stress. Therefore, estimating CWSI rates at the catchment level is of great importance in order to monitor the congruousness of irrigation water allocation, and estimate crop productivity. This study aims at generating fully distributed CWSI maps in a sub-catchment of the Lower Seyhan Plain (LSP) in the Eastern Mediterranean region of Turkey. Remote sensing data (Landsat 7 and 8) with 30 m by 30 m spatial resolution and meteorological data of the two stations, located in the study area, were used to estimate energy balance over the irrigated catchment and consequently CWSI in the winter season of 2020. In turn, "***M**apping **E**vapo**t**ranspiration at **H**igh **R**esolution with **I**nternalized **C**alibration*", i.e. ***METRIC*** methodology, was applied to estimate the energy balance components of latent heat (*LE*), net radiation (*RN*) and soil heat flux (*G*). Results showed that CWSI maps reflected the changes in parallel with crop type variations over the study area. A strong correlation (r=0.96) was found between CWSI and the maximum rooting depths of the crops (wheat, citrus, onion, potatoes) growing in the winter season. Based on the research findings, it might be concluded that applied CWSI estimation methodology contributes to improving irrigation water management and estimating crop productivity in the large-irrigation schemes. Furthermore, the CWSI might be an indicator in mitigating drought damages.

***Keywords*:** CWSI, METRIC, remote Sensing, Lower Seyhan Plain (LSP).

INTRODUCTION

Crop Water Stress Index (CWSI) is an index that is used to explain the degree of crop water deficiency based on canopy surface temperature. Many types of research concerning the CWSI have been done for arranging irrigation water systems in several crops in different areas. Besides its application in irrigation systems, the CWSI is also known as one of the parameters that can influence crop productivity. For example, Berni et al. (2009) mentioned that the CWSI is considered the easy and fast way to determine water stress. Therefore, it is widely used in different scales.

The CWSI can be calculated using the temperature difference between a canopy and ambient air. Temperature is measured under three conditions: at the field, crop canopy transpiration not limited by available soil moisture, and non-transpiring crop. It varies from 0.0 to 1.0 depending on the crop-growing environment. In this context, CWSI of "0.0" indicates no water stress, and a value of "1.0" represents maximum water stress. There are various methods to determine the CWSI like i) *baseline empirical approach* (Idso et al., 1981; Jackson et al., 1981) and ii) *natural and artificial wet and dry reference surfaces* (Jones, 1999; Jones et al., 2002). Determination of CWSI based on the *baseline empirical approach* by Idso et al. (1981) for monitoring water stress has some difficulties to measure canopy temperature (Tc) and air temperature (Ta) in the field and the primary calculation to determine the upper and lower limit of canopy temperature and air temperature (dTU and dTL). Accordingly, Veysi et al. (2017) reported that estimating CWSI based on the remote sensing data could help practitioners overcome these difficulties because it requires almost no ancillary data and complex calculations. In turn, Yi et al. (2013) mentioned that nowadays, remote sensing techniques have been becoming robust tools for evaluating the vegetation characteristics, which may help decision-makers to take preventive measures regarding irrigation water allocation as well as irrigation management. Literature reviews have shown that the calculation of CWSI based on remote sensing could be the best operational method for monitoring and assessment of water stress and irrigation scheduling (Veysi et al., 2017). ***M**apping* ***E**vapo**t**ranspiration* at high ***R**esolution* with ***I**nternalized* ***C**alibration* (***METRIC*** model) is an image-processing model to calculate actual evapotranspiration (*ETa*) as a residual of the surface energy balance equation by using the data obtained from satellite images and meteorological stations.

The objectives of the present study were to: (i) estimate fully distributed CWSI maps in a sub-catchment of the Lower Seyhan Plain (LSP) in the Eastern Mediterranean region of Turkey and; (ii) try to find a likely correlation between CWSI and maximum rooting depths of the crops (wheat, citrus, onion, potatoes) growing in the winter season.

MATERIALS AND METHODS

The study area (A≈95 km^2), which is substantially flat terrain, is situated in the Lower Seyhan Plain (LSP) (Figure 1) in the southeastern Mediterranean region of Turkey. The Mediterranean climate type is dominant in the LSP with minimum and maximum air temperatures of 9.0ºC and 31.0ºC, respectively. The annual mean precipitation of the basin is 650 mm (Cetin et al., 2020). Major cultivated crops were citrus, wheat, onion and potatoes in the winter season of 2020. Hourly and daily climate data, obtained from the two meteorological stations, were utilized in the study: a) Adana meteorological station of Turkish State Meteorological Service, b) L8 meteorological station which was established in the research area (Figure 1). Datasets covered four months in the winter season (January, February, March, and April). The Landsat image data sets, typically available every 16 days, were provided by the United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer website (www.earthexplorer.usgs.gov). In this study, four satellite scenes, Landsat 7 (ETM$^+$) and Landsat 8 TIRS (Thermal Infrared Sensor) and OLI (Operational Land Imaginer) (path 175, row 34) with a resolution of 30 m by 30 m were downloaded from the website. Sunsequently, the ENVI (Environment for Visualizing Images) software program was applied to perform a cloud mask for two satellite images in January and February. The *METRIC* model estimates the energy balance components of latent heat (*LE*), Net radiation (*RN*) and Soil heat flux (*G).* The model can be applied in both flat and mountainous terrains (Olmedo et al., 2016). The *R-METRIC* model which is based on the *METRIC* model has automatized hot-cold pixel selection that decreases the possibility of human error (Aksu and Arikan 2017).

The *R-METRIC* model was applied to estimate latent heat for evaporation (*LE*) in Eq. (1), hence actual evapotranspiration (*ETa*), by using Landsat satellite imagery, primarily based on (Allen et al., 2007a, 2013b).

$$LE = Rn - G - H \tag{1}$$

Where *Rn* is the net radiation flux at the surface, *G* is the soil heat flux, and *H* is the sensible heat flux. All the fluxes are in the unit of watt per meter square (W m^{-2}). Further information concerning *METRIC* equations can be found in Allen et al. (2007a). Because the study area is a rather flat terrain, slope correction was not performed to calculate *ETa*. Reference evapotranspiration (*ETo*) was estimated by using the Penman-Monteith model. Sun et al. (2004) has defined crop water stress index (CWSI) as the following equation:

$$CWSI = 1 - \left(\frac{LE}{Rn - G} \right) \tag{2}$$

The CWSI varies between 0 and 1; “0” and “1” stand for “extremely wet or no water stress condition” and “extremely dry or no transpiration condition”, respectively.

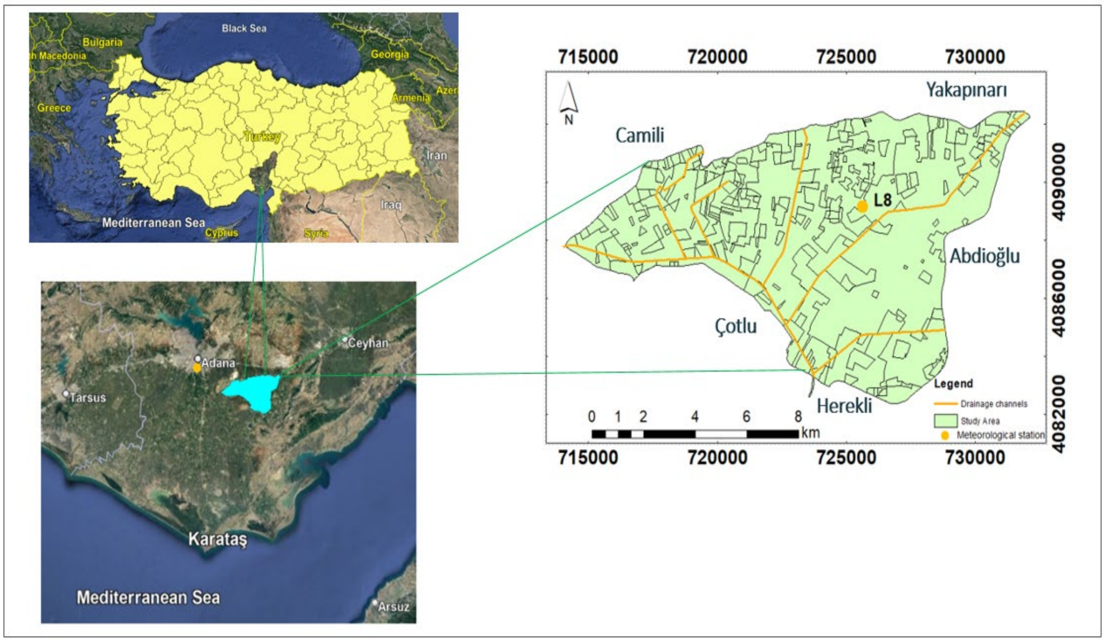


Figure 2. Study Area, a sub-catchment of the Lower Seyhan Plain (LSP), in the Eastern Mediterranean region of Turkey

RESULT AND DISCUSSION

In this study, *R-METRIC* was applied to estimate CWSI using remote sensing data in the Lower Seyhan Plain located in the Eastern Mediterranean Region of Turkey. The spatial distribution of CWSI was mapped in the winter season of 2020. Figure 2 shows the temporal variations of the CWSI values for some crop types based on the *METRIC* model. As seen from Figure 2, the values of CWSI retrieved from Landsat imagery are higher on eight of March than other dates in the winter season. The maximum value of CWSI was estimated as 0.87 in the potato grown areas. Likewise, CWSI values were calculated as 0.84, 0.75, and 0.78 for onion, wheat and citrus, respectively. Figure 3 shows CWSI maps reflected the changes in parallel with crop type variations over the study area on the 8th of March of 2020. Figure 4 shows the relation between CWSI maximum rooting depths. Obviously, the CWSI has a strong correlation with the maximum rooting depth of the crops, indicating the importance of available water content in the rooting zone. The correlation coefficient between CWSI and maximum rooting depths of the crops (wheat, citrus, onion, potatoes) growing in the winter season is 0.96, and the determination coefficient (R^2) is about 0.92. Table 1 shows CWSI values with maximum rooting depth on the eighth of March of 2020.

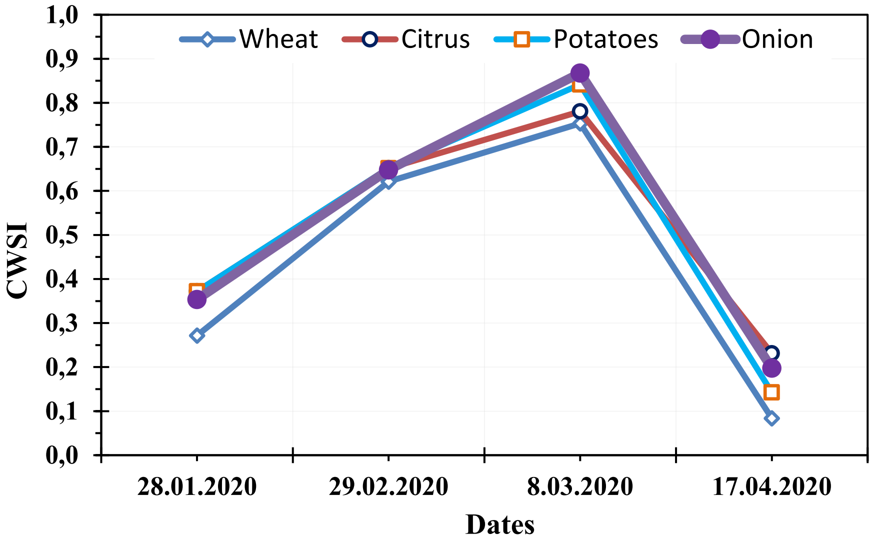


Figure 2. Temporal variations of the CWSI values for crop types over the study area during overpass satellite images in the winter season of 2020

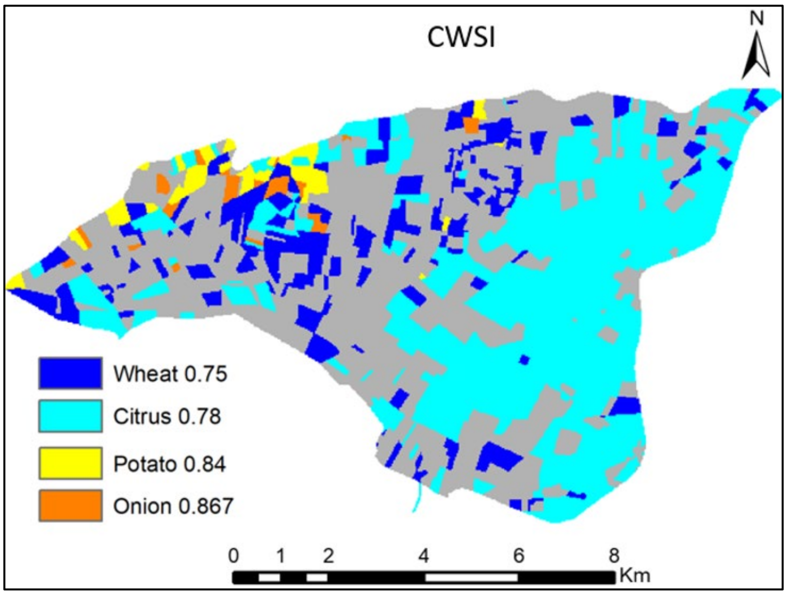


Figure 3. CWSI maps reflect the changes in parallel with crop type variations over the study area on the 8th of March of 2020

Table 1. CWSI values with maximum rooting depth on the 8th of March of 2020

Crop Types	Maximum rooting depth (Dr, m)	CWSI
Wheat	1.1	0.753
Citrus	1.2	0.781
Palm	1.75	0.687
Potato	0.9	0.842
Onion	0.6	0.868

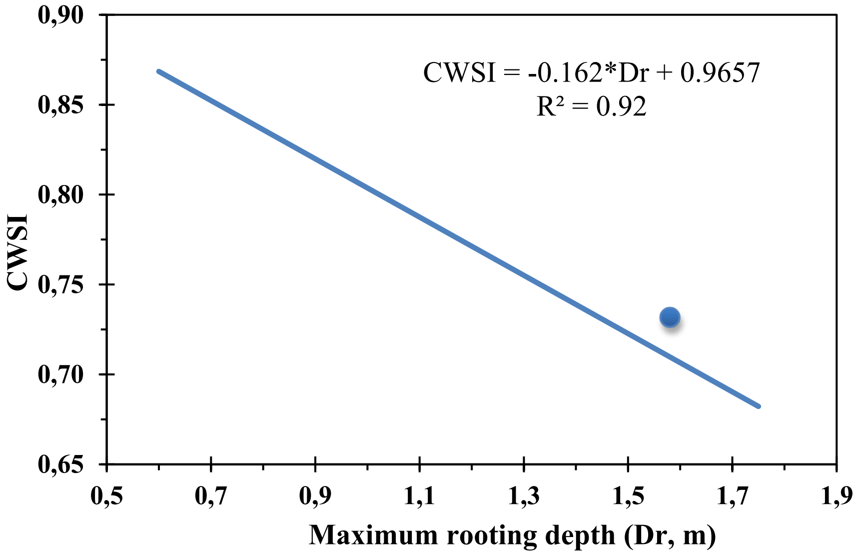


Figure 4. The correlation coefficient between CWSI and maximum rooting depths (Dr) of the crops growing in the Winter Season

Precipitation events and irrigation practices are expected to cause a decrease in the CWSI values. Based on the CWSI results regarding crop patterns, CWSI values on the eighth of March are the highest as compared to the CWSI values of other days. The truth behind those high values CWSI is that no precipitation occurred on the eighth of March (Figure 5 green coloured area) over the study area. On the other hand, there is no irrigation application during the satellite overpass date in the study region. Figure 5 shows the mean daily temperature and precipitation events observed during the winter season over the study area.

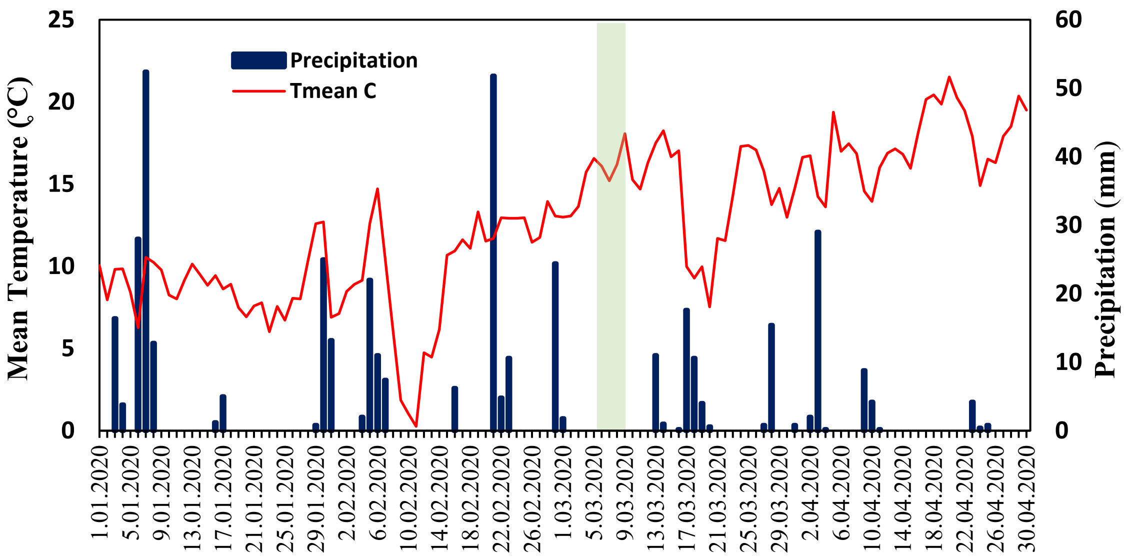


Figure 5. Mean daily temperature and precipitation data of L8 automated weather station during the winter season of 2020 over the study area

Generally, CWSI estimation by using the remote sensing data is a promising and appropriate approach to estimate water-stressed conditions and adapt irrigation scheduling (Veysi et al., 2017). In this regard, the proposed CWSI calculation procedure in this study, the use of Landsat satellite imagery, primarily based on (Allen et al., 2007b) and estimating energy balance components of (*LE*), (*RN*) and (*G*) is a useful tool to schedule irrigations in the study area. On the other hand, monitoring the CWSI over large-scale irrigation catchments as in this study might be a remedy in mitigating drought damages and assessing irrigation water allocation strategies.

CONCLUSIONS

This study presents the progress towards the application of the *METRIC* model using remote sensing data to estimate crop water stress index (CWSI) and adapt irrigation scheduling. The *R-METRIC* algorithm was applied on Landsat-7 ad Landsat-8 images for mapping actual evapotranspiration (*ETa*) and CWSI. Then the results of this study indicated that the CWSI data on the 8th of March have the highest values for all crop types as compared to the CWSI values of the other days in the winter season. Also, it was shown that there exists a strong correlation (r=0.96) between CWSI and the maximum rooting depth of the crops grown in the winter season. On the whole, it can be concluded that the CWSI estimation methodology employed in this study can be accepted as a useful tool to: a) schedule irrigations in large scale irrigation schemes located in the arid and semi-arid regions, b) mitigate drought damages either in irrigated areas or in rain-fed conditions, c) assess irrigation water allocation strategies and irrigation management regime over the catchments. Moreover, results contribute to helping water authorities improve irrigation water management and estimating crop productivity in the large-irrigation schemes.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the Turkish National Geodesy and Geophysics Union (TUJJB) for the financial support of this work (Project Number: TUJJB-TUMEHAP-2020-01).

REFERENCES

Aksu H. and A. Arikan (2017), Satellite-based estimation of actual evapotranspiration in the Buyuk Menders Bain, Turkey .Hydrology 48(2):559-570 hhtps://doi.org/10.2166/nh.2016.226.

Allen R. G., Tasumi M. and R Trezza (2007a), Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration, METRIC (model). J. Irrig. Drain. Eng. 133,380–394.

Allen R. G., Tasumi M., Morse A., Trezza R., Wright J. L., Bastiaanssen W., Kramber W., Lorite I. and C.W. Robsion (2007b), Satellite-based energy balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)-Applications. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133, pp. 395–406.

Allen R. G., Trezza R., Kilic A., Tasumi M. and H. Li (2013b), Sensitivity of Landsat-Scale Energy Balance to Aerodynamic Variability in Mountains and Complex Terrain. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 49(3):592–604, ISSN 1093474X. doi: 10.1111/jawr.12055.

Berni J. A. J., Zarco-Tejada P. J., Sepulcre-Canto G., Fereres E. and F. Villalobos (2009), Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. J. Remote Sens. Environ. 113, 2380–2388.

Cetin M., Kaman H., Kirda C. and S. Sesveren (2020), Analysis of Irrigation Performance in Water Resources Planning and Management: A Case Study. Fresenius Environmental Bulletin (FEB), vol 29. 05: 3409-3414.

Idso S. B., Jackson R. D., Pinter Jr., Reginato R. J. and J. L. Hatfield (1981), Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agric. Meteorol. 24, 45–55.

Jackson R. D., Idso S. B., Reginato R. J. and P. J. Pinter (1981), Canopy temperature as a cropwater stress indicator. Water Resour. Res. 17, 1133–1138.

Jones H. G., Stoll M., Santos T., Sousa C. D., Chaves M. M. and O. M. Grant (2002), Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. Journal of Experimental Botany, 53, 2249−2260.

Jones H.G (1999), Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. Agric. For. Meteorol. 95, 139–149.

Olmedo G. F., Ortega-farias S. and D. Fonseca-luengo (2016), Tools and Functions to Estimate Actual Evapotranspiration Using Land water : Tools and Functions to Estimate Actual Evapotranspiration Using Land Surface Energy Balance Models. The R Journal Vol. XX/YY, AAAA 20ZZ, ISSN 2073-4859.https://doi.org/10.32614/RJ-2016-051.

Sun J. F., Wang R. H., Zhang R. R., Gillies Y. Xue, and Y. C. Bo (2004), Air Temperature Retrieval from Remote Sensing Data Based on Thermodynamics.Theor. Appl. Clirnatol., 80:37^8.

Veysi S., Naseri A. A., Hamzeh S. and H. Bartholomeus (2017), A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. Agricultural Water Management, 189(July), 70–86. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.016.

Yi Q. X., Bao A., Wang Q. and J. Zhao (2013), Estimation of leaf water content in cotton by means of hyperspectral indices. J. Comput. Electron. Agric. 90, 144–151.

Cloud Atlas Project of Türkiye based on Satellite Data

Ahmet ÖZTOPAL[1], Hakan KOÇAK[2], Erdem ERDİ[3], Murat ARSLAN[4], Melek AKIN[1]

[1]İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer İstanbul
[2]Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Uzaktan Algılama Şube Müdürlüğü, Keçiören Ankara
[3]EUMETSAT, Darmstadt, Almanya
[4]Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İç Denetim Birimi, Keçiören Ankara
oztopal@itu.edu.tr; hkocak@mgm.gov.tr; Erdem.Erdi@eumetsat.int; muarslan@mgm.gov.tr; akinm@itu.edu.tr

ABSTRACT

The European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites – EUMETSAT has 8 Satellite Application Facility (SAF) and one of them is NWC SAF, which works for short-term weather forecasting. Thanks to the NWC/GEO software developed by this center, using the raw data obtained from the METEOSAT 2nd Generation (MSG) Satellite and the ECMWF NWP numerical analysis data needed for data assimilation, atmospheric products can be produced in the classes of cloud mask, cloud type, cloud top temperature and height, precipitation clouds, convective rainfall rate, rapid developing thunderstorms, humidity and instability products, high resolution wind, satellite image interpolation and air mass analysis. The aim of this project is to obtain a database of such products and a cloud atlas for the period covering the years 2004-2019 in an area covering our country and to put it into service of the sectors (energy, tourism, defense, etc.) that need it, and then this system is to make it a service over the web. As of today, NWC/GEO software has been installed on a computer system established in ITU Meteorological Engineering Department, and ECMWF NWP numerical analysis data and MSG raw data for the period 2004-2021 have been uploaded. In addition, the production of atmospheric products for the years 2004-2019 was completed.

Keywords: Cloud atlas, MSG, NWC SAF.

Türkiye Uydu Kaynaklı Bulut Atlası Projesi

ÖZET

Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı – EUMETSAT, 8 adet Uydu Verisi Uygulama Merkezine (Satellite Application Facility- SAF) sahiptir ve bunlardan biri de kısa vadeli hava tahminine yönelik olarak çalışmalar yapan NWC SAF'tır. Bu merkezin geliştirmiş olduğu NWC/GEO yazılımı sayesinde, METEOSAT 2. Nesil (MSG) Uydusu'ndan elde edilen ham veriler ile veri asimilasyonu için ihtiyaç duyulan ECMWF NWP sayısal analiz verileri kullanılarak; bulut maskesi, bulut tipi, bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği, yağış bulutları, konvektif yağış oranı, hızlı gelişen fırtınalar, nem ve kararsızlık ürünleri, yüksek çözünürlüklü rüzgâr, uydu görüntüsü interpolasyonu ve hava kütlesi analizi sınıflarında atmosferik ürünler üretilebilmektedir. Bu projenin amacı, ülkemizi kapsayan bir alanda, 2004-2019 yıllarını kapsayan dönem için bu tür ürünlere ait bir veri tabanının ve bir bulut atlasının elde edilmesi ve ihtiyaç duyan sektörlerin (enerji, turizm, savunma, vb.) hizmetine sunulması, sonrasında da bu sistemin web üzerinden hizmet verir bir hale getirilmesidir. Bugün itibariyle, İTÜ Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde kurulan bir sistem üzerine, NWC/GEO yazılımının kurulumu tamamlanarak 2004-2021 dönemi ECMWF NWP sayısal analiz ve MSG ham verileri yüklenmiş durumdadır. Ayrıca 2004-2019 yıllarına ait atmosferik ürünlerin üretimi de tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulut atlası, MSG, NWC SAF.

GİRİŞ

Yer gözlem sistemlerinin hem yeterli sayıda olmaması hem de düzensiz dağılım sorunu nedeniyle noktasal ölçümlerden alansal bilgi üretilmesi hatalar içerebilmektedir. Bu yüzden son zamanlarda uzaktan algılama sistemlerine ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Her ne kadar bazı kısıtları olsa da, uzaktan algılama sistemlerinin düzenli bir piksel yapısında hem yüksek uzaysal hem de yüksek zamansal çözünürlükte bilgi sağlayabiliyor olmaları onları öne çıkarmaktadır. Uzaktan algılama yoluyla elde edilen verilerin doğrudan ölçüm olmadığı da hatırlanacak olursa, doğrulama anlamında yersel verilerin de gerekliliği unutulmamalıdır.

Meteorolojik uydu ve radar sistemleri yardımıyla yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlükte atmosferin takibi daha da kolaylaşmaktadır ve ani gelişen hava olaylarının tespitinde bu sistemlerin katkıları yadsınamaz derecede önemlidir.

Bugün için yersel veriler için bile olsa ülkemize ait bir bulut atlası ya da başka bir deyişle bir bulut klimatolojisi ortaya konulmuş değildir. İşte buradan hareketle bu çalışmada, ülkemizin içinde olduğu bir alanda, 2004-2019 yıllarını kapsayan dönem için uydu verileri üzerinden mevsimlik ve yıllık bulut atlasları ortaya konacaktır.

Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı – EUMETSAT, uydudan elde edilen verilerin kullanımı ve kalitesini artırmak ve ihtiyaç duyulan alanlarda uydu ürünleri geliştirmek gayesiyle 1990'lı yıllardan itibaren uydu uygulama merkezleri (Satellite Application Facility - SAF) kurmuştur ve şu an bunların sayısı 8 adettir. Bunlardan biri de kısa vadeli hava tahminine yönelik çalışmalar yapan NWC SAF'tır. Bu merkezin geliştirdiği NWC/GEO yazılımı sayesinde 10 ürün paketi altında 33 adet atmosferik ürün üretebilmek mümkündür. Dolayısıyla bu projedeki bulut atlası oluşturulmasının temelinde bu yazılım kullanılmaktadır.

ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

Şekil 1'den görüleceği üzere, çalışma alanı 20,00°D - 46,50°D boylamları ile 33,50°K - 44,20°K enlemleri arasında kalan bölgeyi içermektedir.

Şekil 1. Çalışma alanı

Çalışma için kullanılan ilk veri türü, veri asimilasyonu için gerekli olan ECMWF NWP sayısal analiz verileridir. İkinci veri türü ise, EUMETSAT tarafından işletilen MSG uydusunun 7. segmentine ait ve 15 dakikalık zaman çözünürlüğündeki ham verileridir. Her 2 veri türü için de 2004-2021 dönemine ait veriler, İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü'nde kurulan 32

TB'lık QNAP veri depolama ünitesine kopyalanarak, 8 çekirdekli bir iş istasyonu üzerinde işlenmektedir. Çalışma kapsamında kullanılacak yersel veriler ise, 3'er saatlik bulut kapalılığı ve görüş uzaklığıdır.

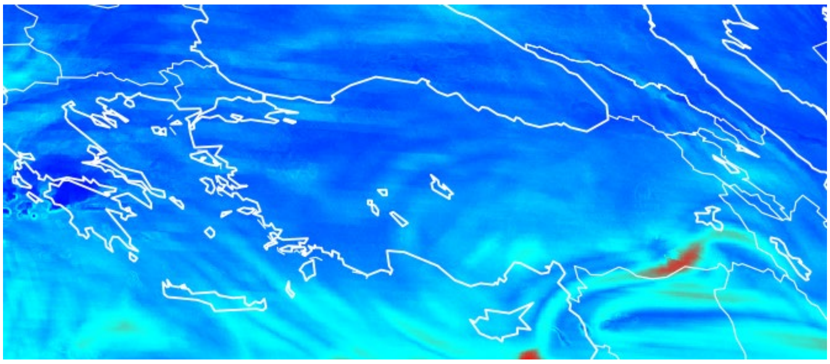
ÜRETİLEN ÜRÜNLER

Tablo 1'den görüleceği üzere, proje kapsamında bulut maskesi, bulut tipi, bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği, yağış bulutları, konvektif yağış oranı, hızlı gelişen fırtınalar, nem ve kararsızlık ürünleri, yüksek çözünürlüklü rüzgâr, uydu görüntüsü interpolasyonu ve hava kütlesi paketlerine ait atmosferik ürünler 2004-2019 yılları için üretilmiş olup, diğer yıllar için ürün üretimi devam etmektedir.

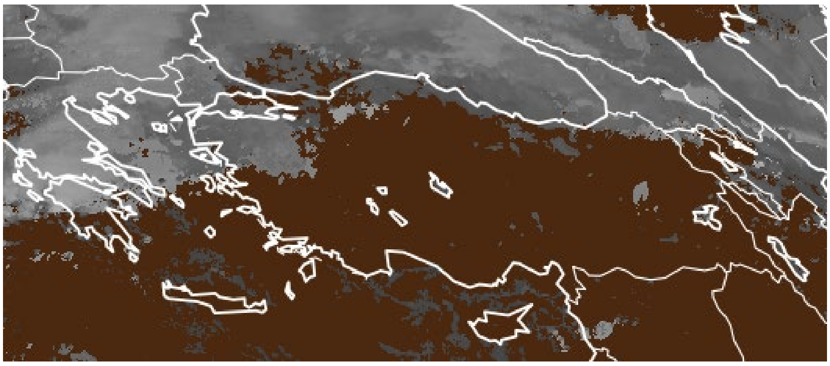
Tablo 1. Çalışma kapsamında üretilen ürün paketleri ve açıklamaları [1].

Ürün No	Ürün Paket İsmi	Paket ürünleri	Ürün açıklaması
		Bulut Ürünleri	
1	Bulut maskesi	- Bulut Maskesi - Toz Maskesi - Volkanik Kül Maskesi	Bulutlu alanların tespit edilmesi için kullanılır. Her bir piksel *bulutlu*, *parçalı bulutlu*, *açık* ve *kar/buz* sınıflarından biri ile tanımlanmaktadır. Ayrıca atmosferde bulunan toz ve volkanik kül tespitini yapar.
2	Bulut tipi	- Bulut Tipi - Bulut Su/Buz Fazı	Kümülüform/stratiform ile çok alçak, alçak, orta, yüksek ve çok yüksek temel sınıflandırmaları kullanılarak bulut tipleri 20 farklı sınıfa ayrılır.
3	Bulut tepe sıcaklığı ve yüksekliği	- Bulut Tepe Basıncı - Bulut Tepe Yüksekliği - Bulut Tepe Sıcaklığı - Efektif Bulutluluk	Tespit edilen buluta ait tepe basıncı, yükseklik, sıcaklık gibi bilgiler verilir.
		Yağış ve Konveksiyon Ürünleri	
4	Yağış bulutları	- Yağış İhtimal Yüzdesi	0-100 arasında değişen yağış olasılık yüzdesini verir.
5	Konvektif yağış oranı	- Konvektif Yağış Oranı - Konvektif Yağış Saatlik Toplamı - Veri Kullanım Bayrakları	Konvektif yağış durumunda, yağış şiddetini 11 farklı sınıf ile ifade eder.
6	Hızlı gelişen fırtınalar	- Hızlı Gelişen Fırtına Tespiti ve Bilgileri - Fırtına Coğrafi Sınırları - Fırtına Hareket Yönü ve Hızı - Fırtına Şiddeti - Fırtına Safhası	Yoğun konvektif sistem bulutlarının belirlenmesi ve takip edilmesi ile hızlı gelişen konvektif hücrelerin tespitini hedefler.
		Açık Hava Ürünleri (Fiziksel Çıkarım)	
7	Uydu nem ve kararsızlık ürünleri	- Toplam Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Sınır Seviyesi Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Orta Seviye Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Yüksek Seviye Yağışa Geçebilir Su Miktarı - Lifted İndeksi - Showalter İndeksi - K-İndeksi - Parametre - SHTM Farkları	Atmosferik kararlığı farklı indeks parametreleri yardımıyla tanımlar ve atmosferin farklı seviyelerine ait yağışa geçebilecek su miktarını verir.
		Kavramsal Model ve Rüzgâr Ürünleri	
8	Yüksek çözünürlüklü rüzgâr	- Rüzgâr Vektörü (Yön ve Hız) - Rüzgâr Vektörü Enlem ve Boylamı - Rüzgâr Vektörü Basınç Seviyesi ve Sıcaklığı - Rüzgâr Vektörü Güvenirliği	Atmosferin farklı seviyelerindeki rüzgâr vektörlerini tespit eder ve bunlara ait bilgileri verir.
9	Uydu görüntüsü interpolasyonu	- Otomatik Uydu Görüntüsü Yorumlama (Kavramsal Model Çıktısı)	Cephesel hatların uydu verileri ile tespit edilmesini hedefler.
10	Hava kütlesi analizi	- Hava Kütlesi Analizi Sınıflandırması - Sırt Hattı	Hava kütlelerinin arktik, kutupsal, tropikal, ekvatoral ile kıtasal/denizsel ve kararlı/kararsız temel sınıflandırmaları kullanılarak 25 farklı sınıfa ayırır.

Üretilen ürünlere örnek olması açısından Şekil 2'den % olarak tropopoz katmanları oluşum ihtimali ürünü, Şekil 3'ten K biriminde bulut tepe sıcaklığı ürünü, Şekil 4'ten mm/saat olarak konvektif yağış yoğunluğu ürünü ve Şekil 5'ten ise mm biriminde toplam yağışa geçebilir su miktarı ürünü görülebilir.

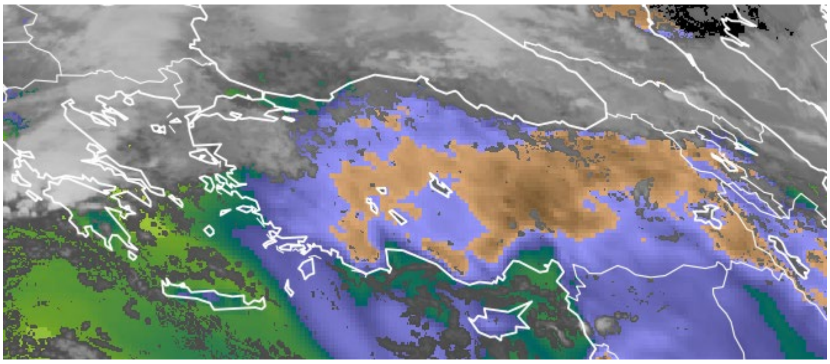


Şekil 2. Tropopoz katmanları oluşum ihtimali ürünü (%)



Şekil 3. Bulut tepe sıcaklığı ürünü (K)

Şekil 4. Konvektif yağış yoğunluğu ürünü (mm/saat)



Şekil 5. Toplam yağışa geçebilir su miktarı ürünü (mm)

SONUÇLAR VE YAPILACAKLAR

Proje sonunda, seçilen çalışma alanında ve 15 dakikalık zaman aralıklarına sahip 10 ürün kategorisinde, toplam 33 atmosferik parametrenin 2004-2021 yıllarını kapsayacak şekilde üretimi sağlanmış olacaktır. Buradan elde edilecek veri tabanı ile de ülkemizdeki tüm araştırıcılar önemli bir veri kaynağına kavuşacaklardır. Bu veri kaynağı enerji, turizm, savunma, vd. sektörlere ücretsiz olarak sunulacaktır. Ayrıca ülkemiz için 18 yıllık bulutluluk atlası çıkarılarak, güneş enerjisi, aydınlanma ve astronomi alanlarında önemli katkılar sağlanacaktır. Ayrıca, projenin sunumu ve üretilen ürünlerin paylaşılabilmesi amacıyla bir web sayfası tasarlanacak olup, operasyonel ürün üretimi için gerekli altyapı oluşturulacaktır.

KAYNAKLAR

Sönmez İ., Erdi E., Demir F., Arslan M., Koçak H., Öztopal A., *Türkiye için uydu kaynaklı atmosfer ürünleri veri tabanının tanıtılması*, II. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, (13-20), Antalya, 2015.

Use of a H-SAF Products Selection for Precipitation Analysis: Validation, Inter-Comparison and Case Studies

Marco PETRACCA[1], Alessandra MASCITELLI[1,2], Jan KANAK[3], Ľuboslav OKON[3], Marta DIOSZEGHY[4], Pierre BAGUIS[5], Eram ARTINYAN[6], Bozena LAPETA[7], Ahmet ÖZTOPAL[8], Peter KRAHE[9], Federico PORCÙ[10], Silvia PUCA[1]

[1]Civil Protection Department (DPC), Rome, Italy
[2]Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC – CNR), Italy
[3]Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI), Slovakia
[4]Hungarian Meteorological Service (OMSZ), Hungary
[5]Royal Meteorological Institute of Belgium (RMI), Belgium
[6]National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH), Bulgaria
[7]Institute of Meteorology and Water Management (IMWM), Poland
[8]Istanbul Technical University (ITU), Türkiye
[9]German Federal Institute of Hydrology, (BfG), Germany
[10]Department of Physics and Astronomy, University of Bologna (UniBo), Italy
Marco.Petracca@protezionecivile.it

ABSTRACT

Over the past few years, there has been a rising in intense precipitation events, resulting in severe effects on people, structures and infrastructures. To meet the challenge of analyzing weather events comprehensively and globally, the use of information from satellite is playing an ever-increasing role in the field of meteorology and, in this context, the "EUMETSAT Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H SAF)" provides data sets and products for operational hydrological applications. In this study, an overview of the following H SAF products will be given: H60 (Precipitation rate at ground by blended SEVIRI IR / LEO MW and morphologic information), H63 (same as H60 but for IODC), H61 (Accumulated Precipitation at ground by blended MW and IR) and H90 (same as H61 but for IODC). Their validation process will be illustrated with the aim to underline the applicability respect to other data sources (ground and satellite data) and a direct inter-comparison between the same product with different spatial coverage (H60-H63 and H61-H90) will be shown to demonstrate their extended spatial validity. In the end some case studies will be given to verify the actual analytical value of the products.

***Keywords**:* Meteorology, H SAF, precipitation, validation, quality assessment, comparison, ground data, satellite data.

Developing a Precipitation Algorithm Based on Passive Microwave Data

Melek AKIN, Ahmet ÖZTOPAL

İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer İstanbul
akinm@itu.edu.tr; oztopal@itu.edu.tr

ABSTRACT

Low-Earth Orbit (LEO) satellites provide passive microwave (PMW) information about the hydrometeors. PMW data, which can be obtained from Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B) and Microwave Humidity Sounder (MHS), has a direct interaction with precipitation. The methods developed using PMW data are sensitive to the concentration of ice particles or water droplets associated with precipitation. Therefore, this data is more appropriate to estimate the rain rate. The aim of this study is to develop an estimation model based on artificial intelligence by using brightness temperature data from five different channels (89, 150, 184, 186, and 190 GHz) of the AMSU-B and MHS mounted on NOAA 15-18 and METOP-A satellites. Brightness temperatures obtained by different channel frequencies are used as an input for the artificial intelligence model, and the rain rate values are tried to be estimated. In addition, the model results are compared with the rain gauge data and rain rate values of the 183 WSL Fast Rain Rate Retrieval Algorithm.

Keywords: Algorithm, PMW, precipitation, Rain rate, Turkey.

Pasif Mikrodalga Verisi Tabanlı Bir Yağış Algoritması Geliştirilmesi

ÖZET

Alçak Yörünge (LEO) uyduları, hidrometeorlar hakkında pasif mikrodalga (PMW) bilgileri sağlarlar. Advanced Microwave Sounding Unit-B (AMSU-B) ve Microwave Humidity Sounder (MHS) algılayıcılarından elde edilebilen PMW verileri, yağış ile doğrudan etkileşime sahiptir. PMW verileri kullanılarak geliştirilen yöntemler, yağışla ilişkili buz parçacıklarının veya su damlacıklarının konsantrasyonuna duyarlıdır. Bu nedenle, bu veriler yağış şiddetini tahmin etmek için daha uygundur. Bu çalışmanın amacı, NOAA 15-18 üzerine monte edilmiş AMSU-B ve METOP üzerine yerleştirilmiş MHS'nin beş farklı kanalından (89, 150, 184, 186 ve 190 GHz) parlaklık sıcaklık verilerini kullanarak yapay zekaya dayalı bir tahmin modeli geliştirmektir. Farklı kanal frekansları ile elde edilen parlaklık sıcaklıkları yapay zekâ modeline girdi olarak kullanılmış ve yağış şiddeti değerleri kestirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca model sonuçları, 183 WSL Fast Rain Rate Retrieval Algorithm yöntemiyle elde edilen yağış şiddeti ve yağış ölçer verileriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Algoritma, PMW, yağış, yağış şiddeti, Türkiye.

A Comparative Study on the Performance of the GRACE-Based WSDI and GDSI Indices for Drought Surveillance over Turkey

Behnam KHORRAMI[1], Orhan GÜNDÜZ[2]

[1] Department of GIS, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey
[2] Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey
behnam.khorrami@ogr.deu.edu.tr; orhangunduz@iyte.edu.tr

ABSTRACT

Drought events are known as one of the most catastrophic environmental phenomena with impressive ramifications for the natural environment, society and economy. Remotely sensed variables offer global distribution of different hydro-meteorological variables. Taking the unique advantages of remote sensing missions, the data extracted from remote sensing sources have now become more alluring for researchers. The Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE) is one of the advanced remote sensing projects, which provides the global scale variations of the Earth's water storage. The variations of the terrestrial water storage (TWSA) give insights into the extreme meteorological events. In this study, the TWSA estimates from the GRACE were used alongside with in-situ observations of precipitation to extract drought indices. The GRACE estimates were utilized to extract Groundwater Drought Severity Index (GDSI) and Water Storage Deficit Index (WSDI). Standardized Precipitation Index (SPI), and Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) indices were also used to validate the GRACE-derived drought indicators. The results show that the GRACE-based WSDI correlates well with the SPI both temporally and spatially. With the correlation values of 0.69, and 0.70, the variations of WSDI turn out to be in good concordance with that of SPI at monthly and annual time scales respectively. The findings of this study demonstrates that WSDI could be used as a proxy to standard meteorological drought indices over Turkey as it performed well to detect and characterize the recent droughts of Turkey.

Keywords: Drought, GRACE, WSDI, GDSI, TWSA, Turkey.

INTRODUCTION

Drought events are being considered as complex extreme environmental conditions with harsh environmental, social and economic consequences (Sillmann et al., 2013; Hosseini-Moghari and Araghinejad, 2015). Drought is characterized by terrestrial water storage deficit (Sun et al. 2018) and emerges in four major types; meteorological, agricultural, hydrological, and socioeconomic drought (Wilhite ,2005). However, because precipitation contributes the most to the variations of the water storage in the water cycle, all droughts can be characterized by precipitation deficiency and/or evapotranspiration anomaly. The occurrence of extreme dry periods has become frequent especially in the arid and semi-arid regions, which is mainly due to the changes in the global patterns of temperature and precipitation. Therefore, detection and monitoring of droughts should be given utmost priority for better management of the limited water supplies (Khorrami and Gündüz, 2019).

Drought monitoring is traditionally done by field observations of hydro-meteorological variables such as precipitation, temperature, evapotranspiration and soil moisture. These point-based techniques suffer from spatial restriction of the gage network, which confines their applications to small areas (Brown et al., 2008). Moreover, the data gathering, processing and analysis of field-based observations are costly

(Sun et al., 2018). On the other hand, recent progresses in the field of remote sensing have culminated into high accuracy and quality data which provide an excellent substitute for traditional observations (Jiang et al., 2014; Cao et al., 2015). Detection and tracing of drought events can be implemented conveniently and economically by using remote sensing-based indicators on large scales (Jiang et al., 2014) due to their global coverage as well as uninterrupted time series.

The Gravity Recovery And Climate Experiment (GRACE) mission is one of the pioneering space missions aimed at giving insights into the variations of the Earth's terrestrial water storage (TWS) (Ramillien et al., 2008). TWS is a key element of the hydrological water cycle whose variations are used in different fields ranging from oceanography to hydrology. GRACE data have also been used for drought monitoring and water storage analysis all over the world (Yirdaw et al., 2008; Leblanc et al., 2009; Chen et al., 2009; vanDijk et al., 2011; Li et al., 2012; Long et al., 2013; Cui et al, 2019; Shah and Mishra, 2020; Boergens et al., 2020; Dharpure et al., 2020). According to the findings of these studies, there is a lack of a universal GRACE-based drought index applicable for any study area around the world. The feasibility of the different developed techniques and indices still remain ambiguous possibly due to the geographic as well as climatic characteristics of the area of interest. In particular, the spatio-temporal variability of drought events and associated hydro-climatic parameters as well as the characteristics of basins engender drought monitoring a challenging practice, by which it is literally impossible to formulate and use a universally applicable drought indicator (Smakhtin and Hughes 2007).

The geographic location of Turkey, beside its climatic regime, have rendered Turkey to experience numerous harsh droughts in its recent history. Although the routine station-based monitoring and assessment of drought is quite prevalent in Turkey (Türkeş et al., 2009; Evkaya et al., 2019; Katipoğlu et al., 2020), it suffers from a comprehensive investigation of the feasibility of the GRACE-derived indices for drought surveillance. Taking the large and diverse climatic regions of the country into account, large scale GRACE data coupled with classical techniques seem promising for Turkey. Based on this premise, the scope of the current study is to investigate the capability of the GRACE-driven indices to detect and trace two harsh dry periods (2007/2008 and 2013/2014) over Turkey based on the data from 2003-2016.

Study Area

Turkey is located between the latitudes 36° N and 42° N and longitudes 26° E and 45° E. The country is situated at mid-latitudes that define its climatic characteristics together with its highly variable topography. Despite its Mediterranean geographic location, where mild climatic conditions are dominant (Sensoy et al., 2008), the diversity of its topography as well as proximity to huge water bodies, lead to significant variations in climatic conditions over different regions of the country (Figure 1). According to the Turkish State Meteorological Service (TSMS), Turkey has a mean annual temperature of 13.7°C and a mean annual precipitation of 371 mm (MGM, 2020).

The variability of hydro-climatic parameters in Turkey (Harmancioglu and Altinbilek, 2020) introduces some challenges regarding water accessibility at proper times and space all over the country. In recent years, the demand for water in Turkey has skyrocketed (Harmancioglu and Altinbilek, 2020) in the aftermath of the population increase and industrial development of the country. Consequently, it is now considered that Turkey is very sensitive to climate change impacts and is expected to face serious water scarcity problems in near future (Harmancioglu and Altinbilek, 2020).The uniform appearance will assist the reader to read paper of the proceedings. It is therefore suggested to authors to use the example of this file to construct their papers. This particular example uses an A4 format with 25 mm margins left, right, top and bottom.

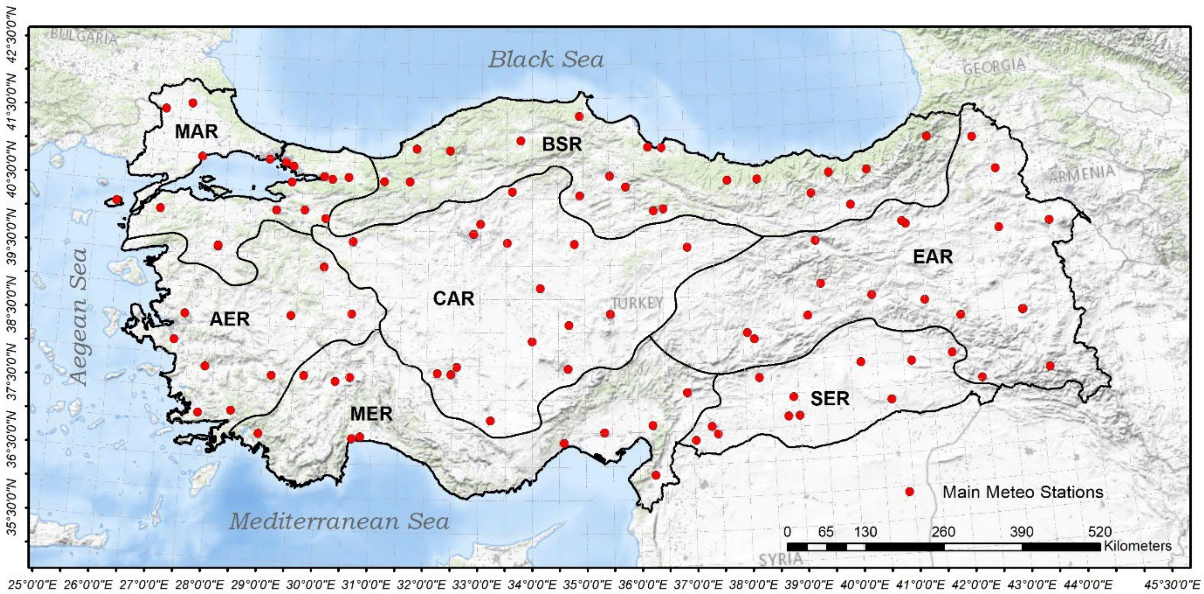


Figure 1. Illustration of the geographic regions of Turkey with the distribution of the main meteorological stations used

Data used

Meteorological data

In this study, precipitation values were collected from the main meteorological stations (Figure 1) of the country to calculate traditional drought indices. Furthermore, the long-term averages of precipitation (P) and temperature (T) from each station were used to draw the climate graph, which depicted the general status of the country regarding the dry and wet periods (Figure 2).

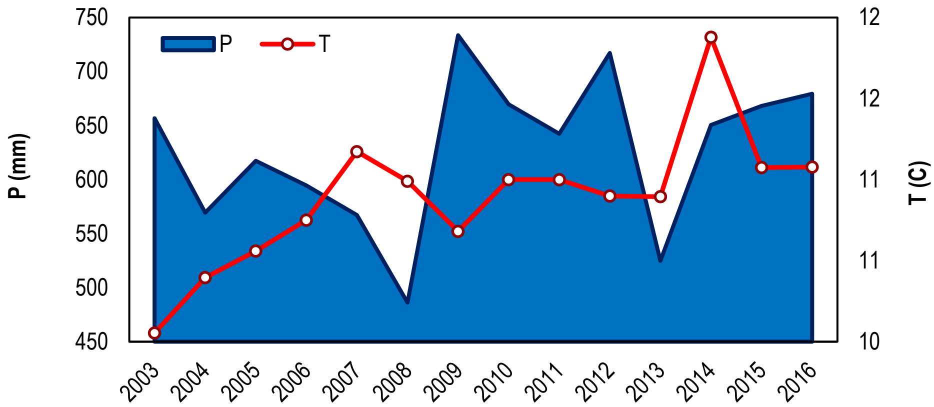


Figure 2. The annual variations of Precipitation and Temperature over Turkey

Figure 2 portrays the climatic situation of Turkey during the study period, where two recent dry periods are observed during 2007 to 2008 and 2013 to 2014. The detected dry periods correspond to the two trough points in P variations (485 and 582 mm in 2008 and 2013, respectively), which demonstrate the two experienced harsh droughts in Turkey during 2003-2016 period.

The GRACE gravity estimates

The GRACE satellites make monthly records of the gravitational pull of the Earth with an unprecedented accuracy, which paves the way for remote estimations of the integrated hydrological components of the water cycle globally (Sinha et al., 2019). The GRACE recorded gravity signals are processed and translated into the monthly anomalies of TWS. GRACE-TWS represents vertically integrated values of hydrological components and is defined as follows:

$$\Delta \mathrm{TWS} = \Delta \mathrm{GWS} + \Delta \mathrm{SWE} + \Delta \mathrm{SMS} + \Delta \mathrm{SWS} \tag{1}$$

where GWS, SWE, SMS, and SWS represent groundwater storage, snow water equivalent, soil moisture storage and surface water storage, respectively (Khorrami and Gunduz, 2021a).

To date, various techniques have been used to derive drought indicators from the GRACE estimates over different parts of the world. These techniques are developed by either using the direct TWSA (Zhao et al., 2017; Thomas et al., 2017; Yi and Wen, 2016; Sun et al., 2018; Yu et al., 2019; Hosseini-Moghari et al., 2019; Nemati et al., 2019; Wang et al., 2020a; Liu et al., 2020; Shah and Mishra, 2020; Yang et al., 2020), or by disintegrating TWSA into its elements to study drought events (Wang et al., 2020b). The drought indices extracted directly from TWSA values are more common due to the simplicity and effectiveness of their application. In this study, GRACE TWSA values were utilized to calculate the GRACE-based drought indices.

GRACE Drought Severity Index (GDSI)

GDSI is derived directly from GRACE TWSA values. GDSI is defined as the standardized anomalies of GRACE TWSA (Zhao et al., 2017) and is formulated as:

$$GDSI_{ij} = \frac{TWSA_{ij} - \overline{TWSA}_j}{\partial_j} \tag{2}$$

where i denotes year ranging from 2003 to 2016; j denotes month ranging from January to December; $\overline{TWSA}_j$ and ∂_j are the mean and standard deviation of TWSA in month j, respectively.

GRACE Water Storage Deficit Index (WSDI)

Water Storage Deficit (WSD) (Thomas et al., 2014) showcases the variations of water storage to pinpoint the storage deficit and surplus in terms of negative and positive WSD values. It is defined by the deviations of the monthly water storage from the climatology values (Eq. 3). The GRACE-based WSDI (Yu et al., 2019) is calculated based on WSD values as follows:

$$WSD_{ij} = TWSA_{ij} - \overline{TWSA_c} \tag{3}$$

$$WSDI_{ij} = \frac{WSD_{ij} - \mu}{\sigma} \tag{4}$$

where WSD_{ij} and $WSDI_{ij}$ represent water storage deficit and its index for the month i of the year j respectively. $\overline{TWSA_c}$ is the climatology value of each month. μ and σ denote the mean and standard deviation of the water storage deficit (WSD) time series, respectively.

Conventional drought indicators

Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) are two widely applied values for traditional station-based evaluation and tracking of extreme meteorological events. Suggested by the "Lincoln declaration on drought indices" (Stagge et al., 2015), SPI is commonly used by many hydro-meteorological services and researchers around the world for drought detection and monitoring (Hayes et al., 2011). To compute SPI, a gamma distribution (Hosseini-Moghari et al., 2019) is fitted to precipitation records then is transformed to a normal distribution.

$$SPI = \frac{X_i - X_j}{\sigma} \tag{5}$$

where X_i, X_j and σ denote the recorded precipitation, the average precipitation of the time series and the standard deviation of the time series, respectively (Dikici and Aksel, 2021).

SPEI is calculated by integrating Potential evapotranspiration (PET) as an auxiliary variable into precipitation records. PET measurements are used to better catch the extreme meteorological events (Vicente-Serrano et al., 2010; Beguería et al., 2010). On account of the dearth of in-situ PET values, this variable was extracted from reanalysis datasets. Using the extracted PET values, the difference between P and PET (D values) are calculated according to equation [9]. SPEI was calculated in the same way as SPI by transferring D values to the cumulative standard normal distribution (Hosseini-Moghari et al., 2019).

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - PET_{n-i}) \tag{6}$$

where D_n^k is the aggregated (P-PET) from the month (n–k+1) to month (n) on time scale k (Yang et al., 2017).

Results and Discussion

Fluctuations of TWS over Turkey

The time series of the terrestrial water storage anomalies (TWSA) were extracted using the area-mean values for each month. The temporal fluctuations of TWSA are given in Figure 3. It indicates that the TWSA over Turkey has a statistically significant descending trend suggesting that the total water storage over the country tends to decrease (Khorrami and Gunduz, 2021b). Figure 4 also reveals that in September 2008 and September 2014, Turkey has experienced its maximum water storage deficit, which was about 19 cm. These findings coincide with the findings of Okay Ahi and Jin (2019). To see the impacts of precipitation, as the main input for the hydrological water cycle on TWSA, the anomalies of precipitation were extracted using the same baseline as GRACE (mean of 2004-2009) and were compared with TWSA. It was found that there is a moderately strong correlation (r= 0.64) between the variations of TWSA and Precipitation Anomalies (PA) over Turkey with the max PA conforming to the peaks of TWSA, which stresses the importance of the received precipitation in the variations of the total water storage changes. The maximum deficit (6 mm) for precipitation was seen in August 2008, which corresponded to the maximum loss of TWSA in the study area.

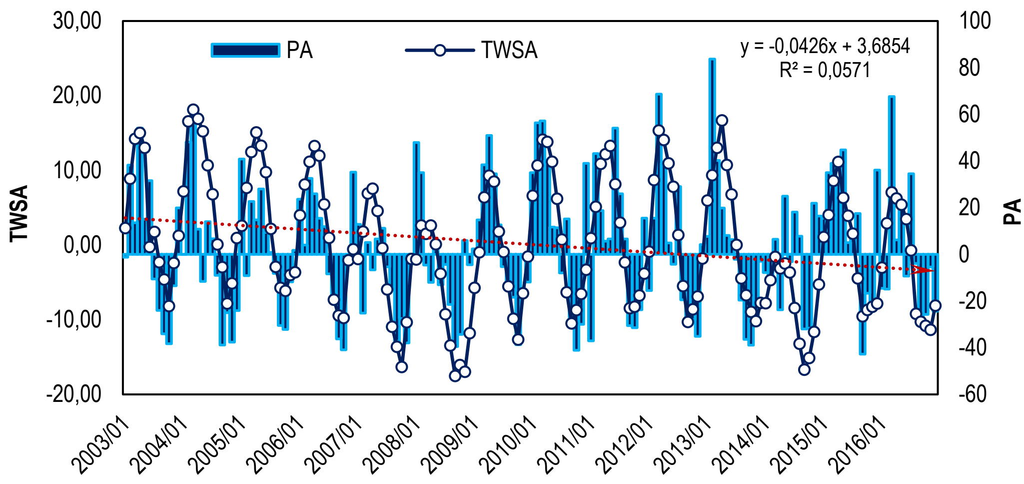


Figure 3. Temporal interactions between TWSA and PA

Validation of the GRACE-derived indices

The performance of the used GRACE-derived drought indicators was evaluated in terms of linear correlations with the SPI and SPEI in different time intervals. The monthly and annual correlation values are shown in Figure 4.

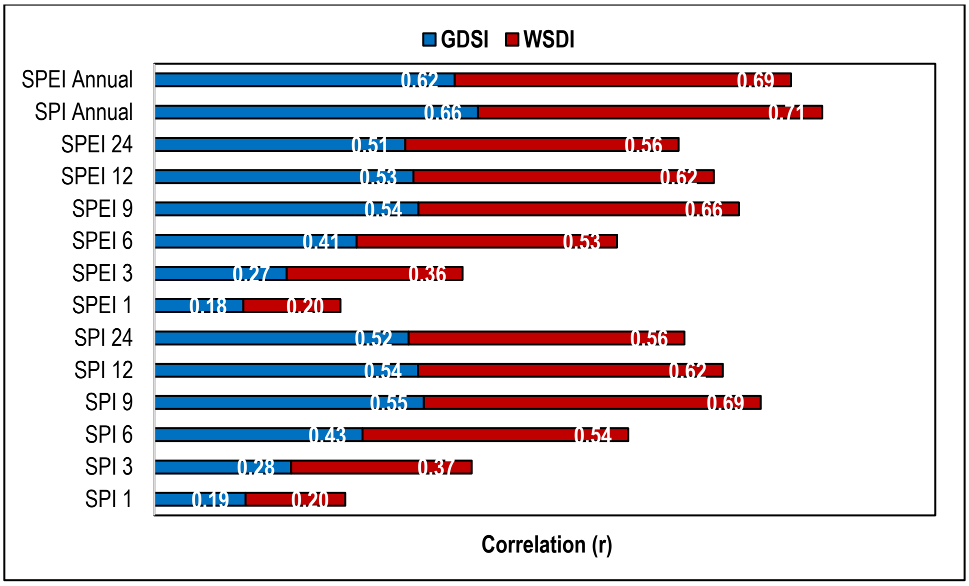


Figure 4. The monthly correlation between GDSI and WSDI with SPI and SPEI.

The results indicate that the WSDI outperforms the GDSI at all the monthly and annual time scales in terms of the correlation of coefficient. It was also found that the GRACE-derived indices are more correlated with SPI than SPEI. The differences in their nature and algorithm (Liu et al., 2020) may influence the performance of the used indices in detecting drought events.

Associations between the GRACE-derived and in-situ indices

As SPI gives better correlation for both the GRACE indices over Turkey, the temporal associations are illustrated making use of the SPI and the GRACE-derived indices. The fluctuations of the SPI values suggest that Turkey has experienced extreme droughts between 2007 to 2008 and in 2014, which is agreement with the droughts detected by annual SPI. These detected dry periods coincide with the situation depicted by the climate graph in Figure 2 as well as the findings reported by other researchers including Marım et al. (2008), Türkeş et al. (2009), Kurnaz (2014), and Okay Ahi and Jin (2019). The temporal association between the GRACE-derived indices and SPI at monthly and annual time scale is given in Figures 5 and 6, respectively. It shows that the GRACE-based GDSI and WSDI are successful in detecting the profound dry (2007/2008 and 2014) and wet periods over Turkey.

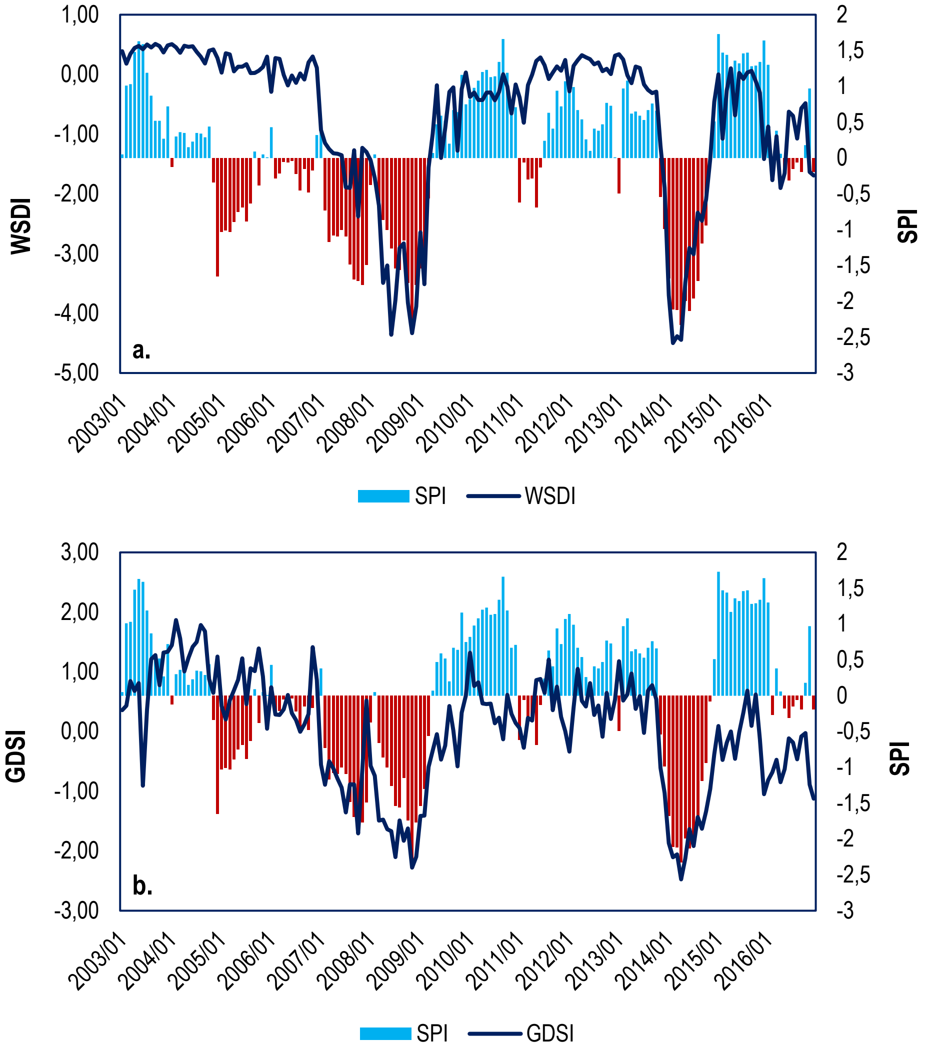


Figure 5. Temporal interactions between monthly SPI and WSDI (a) and GDSI (b)

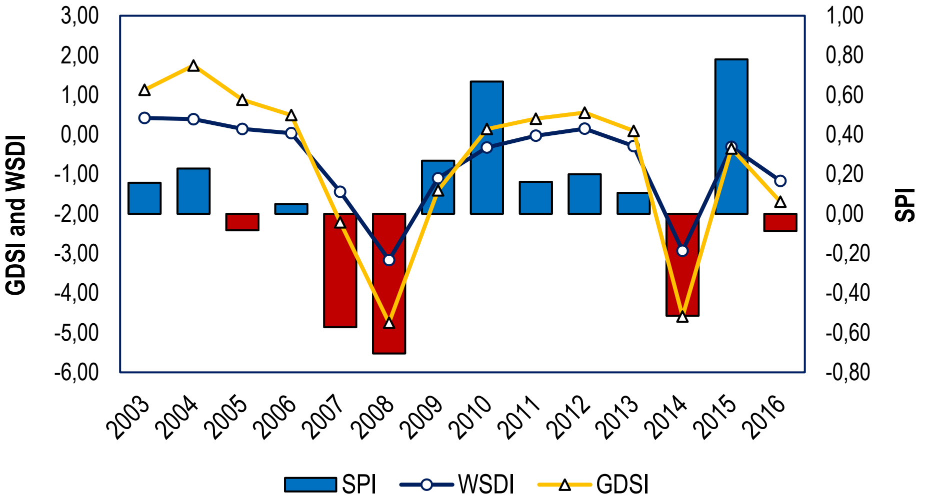


Figure 6. Temporal interactions between the GRACE-derived WSDI and GSDI with SPI at annual scale

Conclusions

Drought studies are traditionally implemented making use of station-based observations of hydro-meteorological parameters. The spatio-temporal restrictions ascribed to the in-situ observations contribute to the lower accuracy of the study outputs. The high quality remotely sensed variables provided by a multitude of advanced and sophisticated missions, make the accurate estimations of the large-scale variations of different environmental parameters possible. With their acceptable precision and ease of application, remote sensing approaches replaced the traditional methods especially for regional to global scale studies.

The results indicate that the GRACE-driven WSDI index performs better than GDSI in detecting the monthly and annual droughts over Turkey. The achieved correlations demonstrate that GDSI and WSDI have better agreement with SPI rather than SPEI even though the differences between these two indices are not so high. This can be ascribed to the fact that SPI is more dependent on precipitation than SPEI and the fluctuations of precipitation are more influential on the climatic condition of Turkey, which makes SPI perform more effectively.

Although GRACE signals are more sensitive to hydrological drought conditions rather than other types, our findings emphasize the high capability of the GRACE-driven WSDI for the determination and evaluation of the meteorological droughts in Turkey. Therefore, it can be claimed that WSDI can be used as a proxy for detecting and assessing meteorological droughts in Turkey.

REFERENCES

Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M. and Angulo-Martínez, M. (2010). A multiscalar global drought dataset: the SPEI base: a new gridded product for the analysis of drought variability and impacts. Bull. Am. Meteorol. Soc. 91: 1351–1356. doi: 10.1175/2010BAMS2988.1

Boergens, E., Güntner, A., Dobslaw, H. and Dahle, C. (2020). Quantifying the Central European droughts in 2018 and 2019 with GRACE Follow-On. Geophysical Research Letters, 47(14): e2020GL087285. doi: 10.1029/2020GL087285

Brown, J. F., Wardlow, B. D., Tadesse, T., Hayes, M. J. and Reed, B. C. (2008). The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A new integrated approach for monitoring drought stress in vegetation. GIScience & Remote Sensing, 45(1): 16-46. doi: 10.2747/1548-1603.45.1.16

Cao, Y., Nan, Z. and Cheng, G. (2015). GRACE gravity satellite observations of terrestrial water storage changes for drought characterization in the arid land of northwestern China. Remote Sens. 7(1): 1021–1047. doi: 10.3390/rs70101021

Chen, J., Wilson, C., Tapley, B., Yang, Z. and Niu, G. (2009). 2005 drought event in the Amazon River basin as measured by GRACE and estimated by climate models. J. Geophys. Res., 114: B05404. doi: 10.1029/2008JB006056.

Cui, A., Li, J., Zhou, Q., Wu, G., and Li, Q. (2019). Hydrological drought measurement using GRACE terrestrial water storage anomaly. In IGARSS 2019-2019 Proceedings of the IEEE International Geoscienc and Remote Sensing Symposium, 9914-9917.

Dikici, M. & Aksel, M. (2021). Comparison of Drought Indices in the Case of the Ceyhan Basin. International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO), 8(2):113-125. doi.10.30897/ijegeo.792379.

Dharpure, J.K., Goswami, A., Patel, A., Kulkarni, A.V. and Meloth, T. (2020). Drought characterization using the Combined Terrestrial Evapotranspiration Index over the Indus, Ganga and Brahmaputra river basins. Geocarto International, 1-25. doi: 10.1080/10106049.2020.1756462.

Evkaya, O., Yozgatligil, C. and Selcuk-Kestel, A.S. (2019). Drought analysis using copula approach: a case study for Turkey. Communications in Statistics: Case Studies, Data Analysis and Applications, 5(3): 243-260. doi: 10.1080/23737484.2019.1635923.

Harmancioglu, N.B. and Altinbilek, D. (Eds.). (2020). Water Resources of Turkey. Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-11729-0.

Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N. and Widhalm, M. (2011). The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. Bull. Am. Meteorol. Soc., 92 (4): 485-488. doi:10.1175/2010BAMS3103.1

Hosseini-Moghari, S.M. and Araghinejad, S. (2015). Monthly and seasonal drought forecasting using statistical neural networks. Environ. Earth Sci. 74(1): 397–412. doi: 10.1007/s12665-015-4047-x

Hosseini-Moghari, S.M., Araghinejad, S., Ebrahimi, K. and Tourian, M. J. (2019). Introducing modified total storage deficit index (MTSDI) for drought monitoring using GRACE observations. Ecological Indicators, 101: 465-475. doi: 10.1016/j.ecolind.2019.01.002

Jiang, D., Wang, J., Huang, Y., Zhou, K., Ding, X. and Fu, J. (2014). The review of GRACE data applications in terrestrial hydrology monitoring. Advances in Meteorology, Article ID 725131. doi: 10.1155/2014/725131.

Katipoğlu, O.M., Acar, R. and Şengül, S. (2020). Comparison of meteorological indices for drought monitoring and evaluating: a case study from Euphrates basin, Turkey. Journal of Water and Climate Change, 11(S1), 29-43. doi: 10.2166/wcc.2020.171

Khorrami, B. and Gündüz, O. (2019). Analyses of meteorological drought and its impacts on groundwater fluctuations, a case study: Marand Plain (Iran). Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 25(6): 711-717. doi: 10.5505/pajes.2019.63600

Khorrami, B. and Gunduz, O. (2021a). Evaluation of the temporal variations of groundwater storage and its interactions with climatic variables using GRACE data and hydrological models: A study from Turkey. Hydrological Processes, (in print). doi: 10.1002/hyp.14076.

Khorrami, B., & Gunduz, O. (2021b). An Enhanced Water Storage Deficit Index (EWSDI) for drought detection using GRACE gravity estimates. Journal of Hydrology, 126812. doi:10.1016/j.jhydrol.2021.126812. (Published online)

Kurnaz, L. (2014). Drought in Turkey. İstanbul Policy Center, Sabancı Üniversitesi-İstanbul. https://ipc.sabanciuniv.edu/Content/Images/CKeditorImages/20200323-16034017.pdf

Leblanc, M.J., Tregoning, P., Ramillien, G., Tweed, S.O. and Fakes, A. (2009). Basin-scale, integrated observations of the early 21st century multiyear drought in southeast Australia, Water Resour. Res. 45: W04408, doi: 10.1029/2008WR007333

Li, B., Rodell, M., Zaitchik, B.F., Reichle, R.H., Koster, R.D. and van Dam, T.M. (2012). Assimilation of GRACE terrestrial water storage into a land surface model: Evaluation and potential value for drought monitoring in western and central Europe. Journal of Hydrology, 446: 103–115. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.035

Liu, X., Feng, X., Ciais, P., Fu, B., Hu, B. and Sun, Z. (2020). GRACE satellite-based drought index indicating increased impact of drought over major basins in China during 2002–2017. Agricultural and Forest Meteorology, 291: 108057. doi: 10.1016/j.agrformet.2020.108057

Long, D., Scanlon, B. R., Longuevergne, L., Sun, A.Y., Fernando, D.N. and Himanshu, S. (2013). GRACE satellites monitor large depletion in water storage in response to the 2011 drought in Texas. Geophys. Res. Lett. 40: 3395–3401. doi:10.1002/grl.50655.

Marım, G.¸ Sensoy, A.¸ Sorman, A. and Sorman, A. (2008). Yukarı Fırat Havzası İçin Elde Edilen Kar Çekilme Eğrilerinin Zamansal Analizi ve Modelleme Çalışmaları. Proceedings of Kar Hidrolojisi Konferansı, DSİ VIII. Regional Directorate, Atatürk University, Erzurum, Turkey. (original in Turkish)

MGM (2020). Turkish State Meteorological Service [MGM]. Official Statistics. Received on 05.03.2020 at: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx.

Nemati, A., Ghoreishi Najafabadi, S.H., Joodaki, G. and Mousavi Nadoushani, S.S. (2019). Monitoring and Analysis of Drought Using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). Hydrology, 6(3): 75. doi: 10.3390/hydrology6030075

Okay Ahi, G. and Jin, S. (2019). Hydrologic mass changes and their implications in Mediterranean-climate Turkey from GRACE measurements. Remote Sensing, 11(2): 120. doi: 10.3390/rs11020120

Ramillien, G., Famiglietti, J.S. and Wahr, J. (2008). Detection of continental hydrology and glaciology signals from GRACE: a review. Surveys in Geophysics, 29: 361–374. doi: 10.1007/s10712-008-9048-9

Sensoy, S., Demircan, M., Ulupinar, Y. and Balta, I. (2008). Climate of Turkey. Turkish State Meteorological Service, 401.

Shah, D. and Mishra, V. (2020). Integrated Drought Index (IDI) for drought monitoring and assessment in India. Water Resources Research, 56(2): e2019WR026284. doi: 10.1029/2019WR026284

Sillmann, J., Kharin, V.V., Zwiers, F.W., Zhang, X. and Bronaugh, D. (2013). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: part 2. Future climate projections. J. Geophys. Res. Atmos. 118 (6): 2473–2493. doi: 10.1002/jgrd.50188

Sinha, D., Syed, T.H. and Reager, J. T. (2019). Utilizing combined deviations of precipitation and GRACE-based terrestrial water storage as a metric for drought characterization: A case study over major Indian river basins. Journal of Hydrology, 572: 294-307. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.02.053

Smakhtin, V.U. and Hughes D.A. (2007). Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. Environmental Modelling & Software, 22(6): 880–890. doi: 10.1016/j.envsoft.2006.05.013.

Stagge, J. H., Kohn, I., Tallaksen, L. M. and Stahl, K. (2015). Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe. Journal of Hydrology, 530: 37-50. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.09.039

Sun, Z., Zhu, X., Pan, Y., Zhang, J. and Liu, X. (2018). Drought evaluation using the GRACE terrestrial water storage deficit over the Yangtze River Basin, China. Science of the Total Environment, 634: 727-738. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.292

Thomas, A.C., Reager, J.T., Famiglietti, J.S. and Rodell, M. (2014). A GRACE-based water storage deficit approach for hydrological drought characterization. Geophysical Research Letters, 41(5): 1537-1545. doi: 10.1002/2014GL059323

Thomas, B.F., Famiglietti, J.S., Landerer, F.W., Wiese, D.N., Molotch, N.P. and Argus, D.F. (2017). GRACE groundwater drought index: Evaluation of California Central Valley groundwater drought. Remote Sensing of Environment, 198: 384-392. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.026.

Türkeş, M., Koç, T. and Sariş, F. (2009). Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 29(8): 1056-1074. doi: 10.1002/joc.1768.

vanDijk, A. I. J. M., Renzullo, L.J. and Rodell, M. (2011). Use of Gravity Recovery and Climate Experiment terrestrial water storage retrievals to evaluate model estimates by the Australian water resources assessment system. Water Resour. Res., 47: W11524. doi:10.1029/2011WR010714

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. and López-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. Journal of Climate, 23: 1696–1718. doi:10.1175/2009JCLI2909.1

Wang, J., Chen, Y., Wang, Z. and Shang, P. (2020a). Drought evaluation over Yangtze River basin based on weighted water storage deficit. Journal of Hydrology, 591: 125283. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125283

Wang, F., Wang, Z., Yang, H., Di, D., Zhao, Y. and Liang, Q. (2020b). Utilizing GRACE-based groundwater drought index for drought characterization and teleconnection factors analysis in the North China Plain. Journal of Hydrology, 585: 124849. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124849

Wilhite, D.A. (2005). Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues, pp. 432, vol. 86, CRC Press.

Yang, Q., Li, M., Zheng, Z. and Ma, Z. (2017). Regional applicability of seven meteorological drought indices in China. Science China Earth Sciences, 60(4): 745-760. doi: 10.1007/s11430-016-5133-5

Yang, P., Zhang, Y., Xia, J. and Sun, S. (2020). Identification of drought events in the major basins of Central Asia based on a combined climatological deviation index from GRACE measurements. Atmospheric Research, 244: 105105. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105105

Yi, H. and Wen, L. (2016). Satellite gravity measurement monitoring terrestrial water storage change and drought in the continental United States. Scientific Reports, 6: 19909. doi: 10.1038/srep19909

Yirdaw, S.Z., Snelgrove, K.R. and Agboma, C.O. (2008). GRACE satellite observations of terrestrial moisture changes for drought characterization in the Canadian prairie. Journal of Hydrology, 356(1): 84–92. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.04.004

Yu, W., Li, Y., Cao, Y. and Schillerberg, T. (2019). Drought assessment using GRACE terrestrial water storage deficit in Mongolia from 2002 to 2017. Water, 11(6): 1301. doi: 10.3390/w11061301.

Zhao, M., Geruo, A., Velicogna, I. and Kimball, J.S. (2017). A global gridded dataset of grace drought severity index for 2002–14: Comparison with pdsi and spei and a case study of the Australia millennium drought. Journal of Hydrometeorology, 18(8): 2117-2129. doi: 10.1175/JHM-D-16-0182.1.

Comparative Analysis and System Design of Atmospheric Particle Data Obtained from GSM and Satellite Data within the Scope of the Turkish Arctic Scientific Experience

Furkan Ali KÜÇÜK[1], Ceyhan KAHYA[2], ÖZGÜN OKTAR[1]
[1]TÜBİTAK MAM
Kutup Araştırmaları Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, Türkiye,
[2]İstanbul Teknik Üniversitesi,
Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul, Türkiye
furkan.kucuk@tubitak.gov.tr; ckahya@itu.edu.tr; ozgun.oktar@tubitak.gov.tr

ABSTRACT

$PM_{2.5}$ and PM_{10} particle measurements were carried out in Svalbard/Longyearbyen in 2019 as part of the Turkish Arctic Scientific Expedition-1 (TASE-1). Obtained data were compared with COPERNICUS data and ECMWF model outputs. Particulate matter (PM) values, temperature, and humidity measurements over GSM communication were measured and recorded every 30 minutes by the 'Airqoon' device with designed sensors. The 'Airqoon' device used is a cloud-based device that uses advanced machine learning algorithms to provide data analysis based on real-time and historical data. As a result of the data obtained, the peak values in the time series were seen on 18 July 2019 and 23 July 2019. According to, it was determined that the most important characteristics that increase air pollution daily are ship traffic and the colliery in the region. On the results, it is essential to establish a fixed measurement station for more accurate measurement of air pollution values. Along with the air quality measurement station planned to be established in the Svalbard region in the coming years, it is planned to process the data to be obtained from the electronic card and Arduino GSM/GPRS shield, temperature and humidity sensors with GPS method at certain time intervals.

Keywords: Arctic, air pollution, particulate matter, GPS, remote sensing.

Türk Arktik Bilimsel Seferi Kapsamında GSM ve Uydu Verilerinden Elde Edilen Atmosferik Partikül Verilerinin Karşılaştırmalı Analizi ve Sistem Tasarımı

ÖZET

Türkiye Arktik Bilimsel Seferi-1 (TASE-1) kapsamında 2019 yılında Svalbard/Longyearbyen'de $PM_{2.5}$ ve PM_{10} partikül ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, COPERNICUS verileri ve ECMWF modeli çıktıları ile karşılaştırılmıştır. GSM iletişimi üzerinden partiküler madde (PM) değerleri ile sıcaklık ve nem ölçümleri tasarlanmış sensörlere sahip 'Airqoon' cihazı tarafından her 30 dakikada bir ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kullanılan 'Airqoon' cihazı, gerçek zamanlı ve geçmiş verilere dayalı kirlilik veri analizi sağlamak için geliştirilmiş makine öğrenimi algoritmalarını kullanan bulut tabanlı bir cihazdır. Elde edilen veriler sonucunda zaman serisindeki sıçrama değerleri 18 Temmuz 2019 ve 23 Temmuz 2019 tarihlerinde görülmüştür. Bu sonuca göre, gün bazında hava kirliliğini artıran en önemli faktörlerin gemi trafiği ve bölgede bulunan kömür ocağı olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlardan yola çıkarak hava kirliliği değerlerinin daha hassas ölçümü adına sabit bir ölçüm istasyonu kurulması önem taşımaktadır. Gelecek yıllarda Svalbard bölgesinde kurulması planlanan hava kalitesi ölçüm istasyonu ile birlikte elektronik kart ve Arduino GSM/GPRS shield, sıcaklık ve nem sensörlerinden elde edilecek verilerin belirli zaman aralıklarında GPS yöntemiyle işlenmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Arktik, hava kirliliği, partiküler madde, GPS, uzaktan algılama.

GİRİŞ

Çevre sorunları, bu yüzyılın en büyük problemi olarak görülmektedir. Ekvator bölgesinden kutup bölgelerine kadar etkili olan çevre sorunlarının başında ise hava kirliliği gelmektedir. Hava kirliliği çeşitli şekillerde tanımlanmaktadır. Bu tanımlardan biri de genel şekli ile insanların çeşitli aktivitelerinden doğan ve sağlıklarının yanısıra kaynakların da kirlenmesine sebebiyet veren kirleticilerin atmosfere karışmasıdır. Hava kirliliğine yol açan kaynaklar temel olarak iki ana grupta değerlendirilir. Bunlar, doğal ve antropojenik hava kirliliği kaynaklarıdır. İklim ve hava kirliliği üzerinde doğrudan etkileri bulunan SO_2, NO_2, CO ve partiküler maddeler (PM) birincil kirleticilerdir. Partiküler maddeler atmosferde katı ya da sıvı olarak bulunan birleşmemiş su dışındaki maddeler olarak nitelendirilebilir. Dünyada hava kirliliğinin en belirgin etkileri 18. yüzyılda gerçekleşen sanayi devrimiyle birlikte görülmeye başlamıştır. Hava kirliliğinin iklim üzerindeki etkilerinin arttığı da bilinmektedir. Dünyanın birçok bölgesinde hava kirliliği üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu bölgelerin başında şehir etkisinin görülmediği kutup bölgeleri gelmektedir. Atmosferik partiküllerin kutup bölgelerine taşınımının hakim rüzgarlar tarafından orta enlemlerden gerçekleştiği bilinmektedir. (İncecik, 1994).

Arktik bölgede gerçekleştirilen 1. Türk Arktik Bilim Seferi (TASE-1) boyunca Svalbard/Jan Mayen bölgesinde hava kalitesi ölçümleri yapılarak PM değerleri ölçülmüştür. Çalışmanın temel amacı Jan Mayen bölgesinde, bölgesel ve uzun mesafeli $PM_{2.5}$ ve PM_{10} taşınımının kapsam, seviye ve etkilerinin sefer süresi boyunca belirlenmesidir.

ÇALIŞMA ALANI, VERİ VE METOD

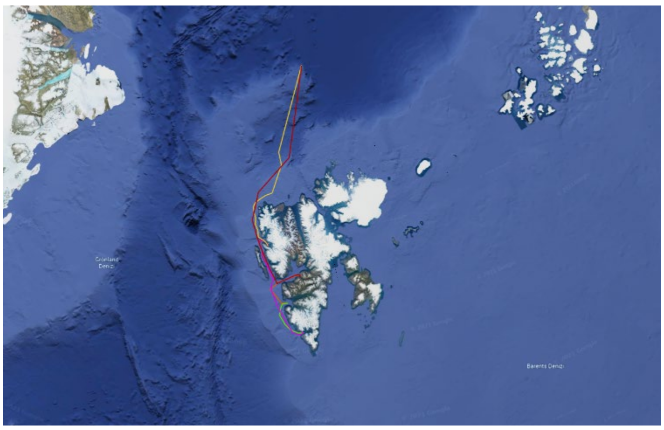
Ölçüm cihazı gerçek zamanlı ve geçmiş verilere dayalı kirlilik veri analizi sağlamak için geliştirilmiş makine öğrenimi algoritmalarını kullanan bulut tabanlı bir cihazdır (Tablo 1). Lazer saçılma yöntemiyle $PM_{2.5}$ ve PM_{10} ölçümü yapılabilmektedir. -20°C ile +50°C sıcaklığı aralığında çalışabilmektedir. IP68 korumasına sahiptir. Güneş paneli ve DC kaynaklı olmak üzere iki farklı şekilde güç sağlanması mümkündür. $PM_{2.5}$ ve PM_{10} ölçümü dışında sıcaklık ve bağıl nem değerlerini de ölçebilme özelliğine sahiptir.

Şekil 1. Airqoon Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı

Tablo 1. Airqoon Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı Özellikleri

Parametre	**Özellikler**
Sensör Tipi	Partiküler Madde Sensörü
Ömür	4+ yıl
Çalışma Aralığı	-20°C ile +50°C aralığında
Montaj	Direk ya da Duvar
Ölçüler	30cm x 22cm x 17cm
Ağırlık	<2.0kg
Koruma	IP68 & IP34
Güç	Güneş paneli ve Akü veya DC kaynaklı
Operasyonel Ölçümler	CO, CO_2, SO_2, O_3, H_2S, VOC

Seferin birinci günü 80 deniz mili yol katedilmiş ve 4 örnekleme noktasından örnek toplanmıştır (Şekil 2). Seferin ikinci ve üçüncü günlerinde 70 deniz mili yol katedilmiş, iki örnekleme noktasından örnek toplanmış ve Polonya Bilim Üssü Ziyareti sonrası hava kalitesi istasyonunun kurulumu gerçekleştirilmiştir. Seferin dördüncü ve beşinci günlerinde 125 Deniz Mili yol katedilmiş ve üç örnekleme noktasından örnek toplanmıştır. Seferin altıncı ve yedinci günlerinde 50 deniz mili yol alınmış, iki örnekleme noktasından örnek toplanmış, Güney Kore Bilim İstasyonu Ziyareti yapılmıştır. Seferin sekizinci, dokuzuncu ve onuncu günlerinde 280 Deniz Mili yol katedilmiş, 83° kuzey enlemine ulaşım sağlanmış ve deniz buzu gözlemleri yapılmıştır. Seferin 11. 12. 13. 14. günlerinde 360 Deniz mili yol katedilmiş ve üç örnekleme noktasından örnekler toplanmıştır.

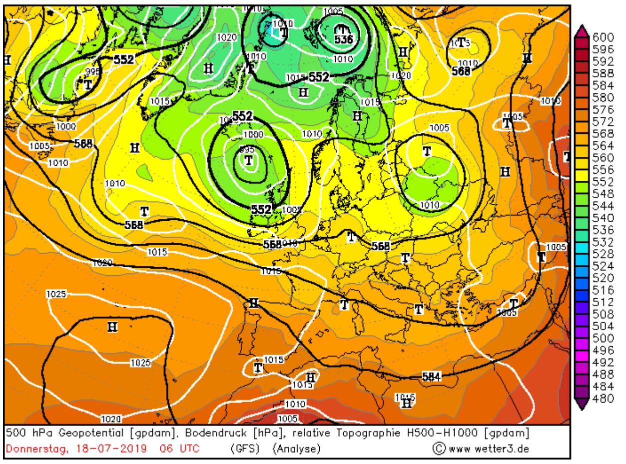


Şekil 2. TASE rotası (Turuncu çizgi: Birinci gün, Yeşil çizgi: İkinci ve üçüncü gün, Mor çizgi: Dördüncü ve beşinci gün, Pembe çizgi: Altıncı ve yedinci gün, Sarı çizgi: Sekizinci, dokuzuncu ve onuncu gün, Kırmızı çizgi: 11.12.ve 13. gün sefer rotası)

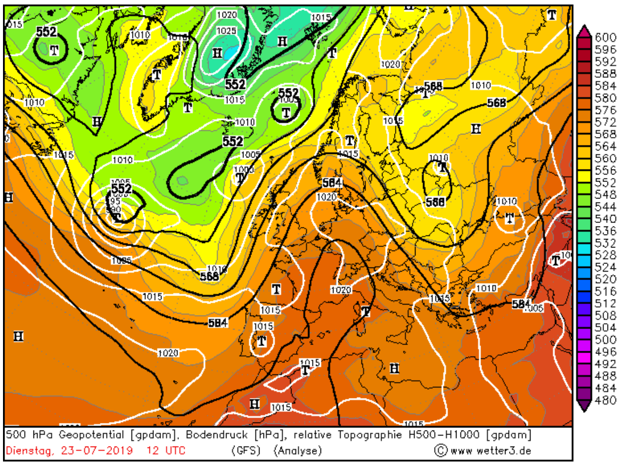
Hava kalitesi ölçüm cihazı ile her 30 dakikada bir ölçüm alınmıştır. Şekil 3'de gösterilen kırmızı renkli bar çizgileri cihaz tarafından ölçülen değerleri ifade etmektedir. Aynı grafikteki mavi renkli bar çizgileri COPERNICUS Veri Sistemi ve ECMWF modelinden elde edilen saatlik verilerdir. 13 Temmuz 2019 ile 25 Temmuz 2019 tarihleri arasında ölçümler alınmıştır. Mavi ile verilen uydu verileri saatlik olarak alınmış olup, kırmızı ile gösterilen cihaz verileri 30 dakikalık aralıklarla alınmıştır. Ölçülen PM_{10} verilerinin saatlik ortalaması gözönüne alınmıştır. 14-17, 21, 23-25 Temmuz 2019 tarihlerinde uydu ve cihaz verilerinin birbiriyle örtüştüğü görülmektedir. Cihaz verisindeki anlık sıçramaların, cihazın konumlandığı noktadaki anlık partiküler madde artışından kaynaklandığı öngörülmektedir. Bu sıçramaların, cihazın konumlandığı yerin yerleşim yeri olması, araç kullanım sıklığı ve gemi trafiği ile taşınan kirleticilerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ölçülen $PM_{2.5}$ verilerinin de saatlik ortalaması alınmıştır. $PM_{2.5}$ grafiğine bakıldığında da uydu verilerinde saat bazında eksikler görülmektedir. Ancak, 19 Temmuz 2019 tarihindeki eksik veri haricinde, uydu ve cihaz $PM_{2.5}$ verilerinin örtüştüğü görülmektedir.

Şekil 3. PM_{10} ve $PM_{2.5}$ uydu ve cihaz verilerinin karşılaştırması

Şekil 4 ve Şekil 5'te 500 hPa basınç kartları görülmektedir. Alçak ve yüksek basınç merkez dağılımlarının görüldüğü garfiklerde, negatif ve pozitif vortisiti alanları görülmektedir. Diverjans ve konverjans alanalarının oluşturduğu rüzğar hareketleriyle beraber bölgeye aerosol taşınımının da olduğu söylenebilir.



Şekil 4. 18 Temmuz 2019 06 UTC 500hPa Basınç Kartı



Şekil 5. 23 Temmuz 2019 12 UTC 500hPa Basınç Kartı

SİSTEM TASARIMI

Airqoon hava kalitesi cihazı; iskelet, sensor sistemi ve bulut tabanlı yapılardan oluşmaktadır. Cihaz, ince sıvı ve katı parçacıkların konsantrasyonunu hızlı ve doğru bir şekilde tespit edebilen kendi sensör ünitelerini kullanır. Bununla birlikte sensör üniteleri ortam hava sıcaklığını ve bağıl nemi ölçmektedir. Cihaz sensör ünitelerinin algılama yönteminde fan, algılama odası, lazerler ve gelişmiş dedektörler kullanılır. Fan, ortam havasını algılama odasından çeker. Haznenin içindeki hava lazer ile aydınlatılır ve havada bulunan bir partiküler madde dedektör tarafından ölçüm olarak kaydedilir. Bu işlem sonrasında dedektör verileri, test hacmindeki partikül konsantrasyonunu elde etmek için gömülü işlemci tarafından analiz edilir. Ortamın meteorolojik şartlarıyla ilgili hassas ve doğruluk payı yüksek veriler, küresel olarak kullanılabilen bir internet bağlantı seçeneği aracılığıyla bulut sistemine yüklenir.

Ölçüm cihazının Arktik bölge meteorolojik koşullarında çalışabilmesi için ek sistem tasarımı yapılmıştır. Cihazın güç beslenmesi için Li-ion piller ve jel aküler kullanılmıştır. Cihazın iskelet sisteminin suya ve soğuya dayanıklı olması için IP 68 sertifikası bulunmaktadır. Harici kullanımlarda iskelet sistemi içerisinde bulunan Li-ion pillerin korunması için yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Güneş panelleri yardımıyla akü ve pil ünitesi desteği artırılmıştır. Üretici firma tarafından hazırlanan cihaza montajlı halde bulunan şehir içi kullanımı için hazırlanmış paneller çıkartılmıştır. Sistemin çalışma sıcaklığı aralığında verimli çalışabilmesi için -20 °C'de uyku moduna geçirilerek, sensor özellikleri dışında doğruluk payı az olan ölçüm alması engellemiştir. Dış ortam sıcaklığı -20°C ve üstüne çıktığı zamanlarda yeniden PM ölçümü alması sağlanmıştır. Geniş güneş paneli ağı, akü ve yedek pil sistemi ve 2 metre uzunluğa sahip iskelet sistemi sayesinde bölge şartlarına uygun, PM ölçümünü hassas ve doğruluk payı yüksek olarak ölçmesi hedeflenmiştir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Son yıllarda giderek artan maden çalışmaları, gemi trafiği ve taşınım sebebiyle Svalbard bölgesinde PM değerleri yükselmektedir. Çalışmanın yapıldığı 18 - 23 Temmuz 2019 tarihleri arasında da bu yüksek değerler açıkca görülmektedir. Yaz mevsiminin bölgede meteorolojik koşullar açısından kolaylık sağlamasıyla sebebiyle bilimsel araştırma gemilerinin, turistik gemilerin ve balıkçı teknelerinin sayısının artığı bilinmektedir. Ayrica kömür madenlerine bağlı yük gemilerinin partiküler madde konsantrasyonundaki değişime de katkı sağladığı düşünülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak hava kirliliği değerlerinin daha hassas ölçümü adına sabit bir ölçüm istasyonu kurulması önem taşımaktadır. Bu bağlamda gelecek yıllarda gerçekleştirilecek seferler kapsamında uzun süreli ölçüm istasyonu için çalışmalara başlanmıştır. Gelecek yıllarda Svalbard bölgesinde kurulması planlanan hava kalitesi ölçüm istasyonu ile elektronik kart ve GSM/GPRS shield, sıcaklık ve nem sensörlerinden elde edilecek veriler belirli zaman aralıklarında GSM yöntemiyle ve uydu verileri ile işlenmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın yapılması için cihaz sponsoru olan Innovathink Muhendislik San. Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederiz. Çalışmamızda desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Burcu Özsoy'a, Kpt. Özgün Oktar'a ve Kpt. Sinan Yirmibeşoğlu'na teşekkür ederiz. İlk Türk Arktik Bilim Seferi sponsoru TC İş Bankası'na teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

İncecik, S. Hava Kirliliği, Gümüşsuyu, 1994

Web sitesi:

Web-1: https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/bilim_ve_teknik_2019_kasim_624_70-75.pdf

Web-2: https://www.airqoon.com/

Web-3: http://www1.wetter3.de/

Determination of Air Pollution from Wildfires with Satellite Observations

Efem BİLGİÇ[1], Gizem Tuna TUYGUN[2], Orhan GÜNDÜZ[3]
[1]Dokuz Eylul University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences
[2]Dokuz Eylul University, Department of Environmental Engineering
[3]İzmir Institute of Technology, Department of Environmental Engineering
efem.bilgic@deu.edu.tr; gizem.tuna@deu.edu.tr; orhangunduz@iyte.edu.tr

ABSTRACT

In 2021, the worst wildfires in the history of Turkey occurred, and according to The European Forest Fire Information System (EFFIS) system, approximately 200 thousand hectares of area burned until September 30, 2021. Especially between July 15, 2021, and August 15, 2021, a large amount of forest area was lost in the fires in the Mediterranean region. EFFIS calculated that 55330 ha, 71047 ha, and 14408 ha of forest were burned in the fires on the borders of Muğla, Antalya, and İçel provinces, respectively. Due to the wildfires, the ecosystem was damaged, and the regional air quality was adversely affected. In this study, emissions of various pollutants caused by forest fires in the Mediterranean region between July 15, 2021, and August 15, 2021 were investigated. For this purpose, pre-fire and post-fire images of the Mediterranean forests in different bands acquired by the Sentinel-2 satellite were processed. The geographic information systems (GIS) analysis was then used to calculate the Normalized Burn Rate difference (dNBR) using satellite data. Burned amount and intensity in the damaged forests were determined regarding the scale suggested by the USGS. The data obtained from GIS analyzes were used to calculate the various pollutant loads released from all wildfires. Pollutant loads were calculated using the EMEP/EEA Tier 2 (technology-specific approach) method. As a result of the study, the most burned area was calculated in the forests around Manavgat (Antalya). The province-based burned forest areas were calculated as 52291 ha, 66211 ha, and 13642 ha for Muğla, Antalya and İçel, respectively. Furthermore, emission results were compared with the Global Fire Assimilation System (GFAS) data that assimilates fire radiative power (FRP) observations from satellite-based sensors to produce daily estimates of emissions from wildfires and biomass burning by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

***Keywords*:** Wildfire emissions, Sentinel-2, ECMWF, GFAS, Eastern Mediterranean.

Orman Yangınlarından Kaynaklı Hava Kirliliğinin Uydu Gözlemleriyle Belirlenmesi

ÖZET

2021 yılında Türkiye tarihinin en ağır orman yangınları meydana gelmiş olup, Avrupa Orman Yangını Bilgi Sistemi (EFFIS) sistemine göre 30 Eylül 2021'e kadar yaklaşık 200 bin ha alan yanmıştır. Özellikle 15 Temmuz 2021 ve 15 Ağustos 2021 arasında Akdeniz bölgesinde yaşanan yangınlarda çok büyük miktarda ormanlık alan kaybedilmiştir. EFFIS tarafından Muğla, Antalya ve İçel ili sınırlarındaki yangınlarda sırasıyla 55330 ha, 71047 ha ve 14408 ha ormanın yandığı belirlenmiştir. Orman yangınları sonucunda sadece ekosistem zarar görmemiş, aynı zamanda bölgesel hava kalitesi de olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu çalışmada 15 Temmuz 2021 ve 15 Ağustos 2021 arasında Akdeniz bölgesinde gerçekleşen orman yangınlarının neden olduğu çeşitli kirleticilerin emisyonları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Akdeniz ormanlarının Sentinel-2 uydusu tarafından üretilen farklı bantlardaki yangın öncesi ve sonrası görüntüleri işlenmiştir. Yapılan coğrafi bilgi sistemleri (CBS) analizleriyle, bu uydu görüntüleri kullanılarak Normalleştirilmiş Yanma Oranı farkı (dNBR) hesaplanmış ve zarar gören ormanlardaki yanma miktarları ve şiddetleri USGS tarafından önerilen ölçeğe göre tespit edilmiştir. CBS analizleriyle elde edilen veriler, tüm yangınlarda oluşan çeşitli kirletici emisyonlarına ait kirlilik yüklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Kirlilik yükleri, EMEP/EEA Tier 2 (teknolojiye özel yaklaşım) yöntemi ile hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, en fazla yanan alan Manavgat (Antalya) civarındaki ormanlarda elde edilirken, il bazlı yanan ormanlık alanlar sırasıyla Muğla, Antalya ve İçel için 52291 ha, 66211 ha ve 13642 ha olarak hesaplanmıştır. Emisyon sonuçları ayrıca Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) tarafından oluşturulan Küresel Yangın Asimilasyon Sistemi (GFAS) tarafından elde edilen emisyon akıları ile karşılaştırılmıştır.

***Anahtar Kelimeler*:** Orman yangını emisyonları, Sentinel-2, ECMWF, GFAS, Doğu Akdeniz.

INTRODUCTION

It is expected that authors will submit carefully written and proofread material. Careful checking for spelling and grammatical errors should be performed. The number of pages in the paper should not exceed 10. Wildfires are destructive to flora and fauna of the fire regions and cause air pollution by releasing dangerous gases and aerosols. Many studies demonstrated that wildfires impacted atmospheric chemistry and air quality (MacCracken et al., 1986; UCAR, 1986; Penner et al., 1991; Luterbacher et al., 2004; Stohl et al., 2007). Biomass combustion in the forest typically initiates with an ignition and proceeds through sequential series of flaming, smouldering and extinction, which comprise different chemical processes leading to varying emission products (Urbanski et al., 2008). In addition, large amounts of carbonaceous materials are burnt during various stages of fire, which are chemically transformed, volatilized and injected into the atmosphere (Lazaridis et al., 2008).

The diversity of emitted pollutants from a wildfire is mainly associated with the type and composition of the forest, oxygen supply to the fire, combustion temperature of the fire, moisture content of the fuel, terrain conditions, occurrence of minor elements in the vegetation, and physicochemical process during combustion (Andreae and Merlet, 2001; Koppmann et al., 2005). The emitted mixture of gases includes mainly greenhouse gases (GHG) such as carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), and chemically active gases, such as carbon monoxide (CO), oxides of nitrogen ($NOx=NO+NO_2$) and non-methane volatile organic compounds (NMVOCs). This gas composition impacts local and regional air quality (Lazaridis et al., 2008; Kaiser et al., 2012; Kumar et al., 2019).

According to the European Forest Fire Information System (EFFIS), more than 200,000 hectares were burned in Turkey due to wildfires in 2021 (EFFIS, 2021). This is the highest value for Turkey since EFFIS started reporting the estimated burned areas since 2008. The most significant ones of these fires occurred between July 15 and August 15 in several isolated locations on the Mediterranean coasts of Turkey. Massive amounts of biomass comprised of forests, agricultural areas, scrubland, etc., were destroyed, and many wildlife animals have lost their habitat.

In this study, air pollution emissions from these wildfires were analyzed by remote sensing methods. For this purpose, burn severities and amounts of burned areas resulting from the wildfires were determined by processing Sentinel-2 satellite products. Afterwards, the emission amounts were calculated with the model proposed by EMEP/EEA (2019). To provide accurate estimates of the fluxes of aerosol, reactive gas and greenhouse gas emissions to the atmosphere, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) developed the Global Fire Assimilation System (GFAS) from satellite-based fire radiative power (FRP) product. In this study, GFASv1.0 was used to compare the calculated emissions with the new insight developed with Sentinel-2 satellite products and EMEP/EEA model during the fires of July–August 2021 in Turkey. As GFASv1.0 product is an update to the emission factor compilation by Andreae and Merlet (2001), the methodology implemented herein is proposed as the most up-to-date procedure to assess emissions originating from wildfires.

METHODOLOGY

Detection of the Fire Zones in Study Area

As the first step of the analysis, the burned areas were detected manually, analyzing the false-color (RGB= M11, I2, I1) images from Suomi NPP / VIIRS satellite. Further, detected regions were validated with fire and thermal anomalies data from Suomi NPP/VIIRS, and polygons of fire zones were estimated and plotted in ArcGIS v10.6 platform. Accordingly, a total of 18 large/small polygons within the borders of 6 different provinces (Antalya, Aydın, Burdur, Isparta, İçel, Muğla) were determined (Figure 1).

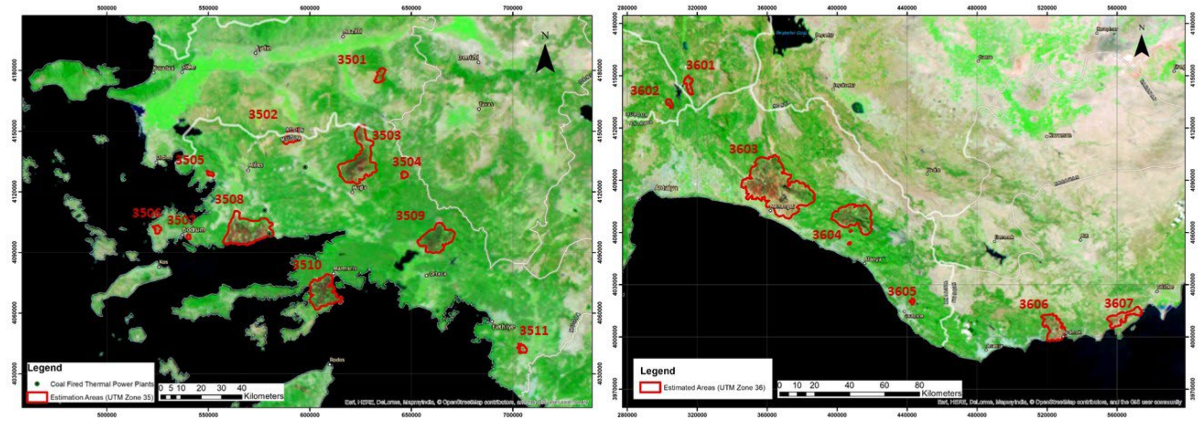


Figure 3. Detected fire zones

dNBR Analysis with Sentinel-2 Satellite Products

In this study, the emissions of various pollutants caused by forest fires in the Mediterranean region between July 15, 2021, and August 15, 2021 were investigated. Thus, as the second step of the analysis, pre-fire and post-fire images of the Mediterranean forests in different bands obtained by the Sentinel-2 satellite were processed. Sentinel-2 is an Earth observation mission from the Copernicus Program that systematically acquires optical imagery at high spatial resolution (10 m to 60 m) over land and coastal waters (ESA, 2021). The mission is currently a constellation with two satellites, Sentinel-2A and Sentinel-2B; and a third satellite, Sentinel-2C, is currently undergoing testing in preparation for launch in 2024. Within the image analysis of fire sites, we obtained 14 Sentinel 2A images (7 pre-fire, 7 post-fire) with 20 m x 20 m spatial resolution. Cloud free days were selected for the analysis.

The third step of the analysis included the calculation of the Normalized Burn Ratio (NBR) and the assessment of Delta Normalized Burn Ratio (dNBR) values through the analysis of satellite images with ArcGISv10.6 platform. The Normalized Burn Ratio (NBR) is an index designed to highlight burnt areas in large fire zones. It is estimated with near-infrared (NIR) and shortwave infrared (SWIR) wavelengths as follows:

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \tag{1}$$

The difference between the pre-fire and post-fire NBR obtained from the images is used to calculate dNBR, which can then be used to estimate the burn severity:

$$dNBR = NBR_{prefire} - NBR_{postfire} \tag{2}$$

Burn amount and burn intensity in the damaged forests were determined by using the scale suggested by the USGS (United Nations, 2021).

Estimation of Emissions

Figure captions and table headings should be sufficient to explain the figure or table without needing to refer to the ext. Figures and tables not cited in the text should not be presented. The following is an example for Table 1. After burn severity and burned areas were estimated, emissions were calculated for six different pollutants (NO_X, CO, SO_X, TSP, $PM_{2.5}$ and BC). The biomass combustion model (Seiler and Crutzen, 1980) recommended by the EMEP/EEA (2019) was used. In this model, emitted dry matter mass (M) is estimated with the following equation:

$$M = \mathrm{A} * \mathrm{B} * \alpha * \beta \tag{3}$$

where A is burned biomass area, B is burned biomass amount, α is a fraction of above-average above-ground biomass, and β is burning efficiency (fraction burnt) of the above-ground biomass. B, α, β values vary according to land use. Accordingly, the most recent Copernicus 2018 land cover (CLC) data with 100mx100m spatial resolution was used to analyze the land cover of fire zones. The land cover rate of the selected biomass types in the estimation areas was calculated as 97%. The rest of the region represented different land cover classes such as mining areas and beaches. CLC consists of 44 different classes and 22 of which produce biomass. In this study, these 22 classes were regrouped according to categories provided in EMEP/EEA (2019), and finally, five classes were obtained. The B and α values used for each class are shown in Table 1.

Table 2. Burned biomass amount and fraction of above-average above-ground biomass for different land use data (EMEP/EEA, 2019)

	Temperate Forest	**Mediterranean Forest**	**Mixed Forest**	**Scrubland**	**Grassland (Steppe)**
B (kg/m^2)	35	15	20	7.5	2
α	0.75	0.75	0.75	0.64	0.35

β values for each burn severity level were also derived from the EMEP/EEA (2019). EMEP/EEA (2019) suggested a burning efficiency of 0.20, 0.25, 0.50 and 0.50 for temperate forests, Mediterranean forests, scrubland and grassland, respectively (Table 2). Weighted averages based on burn severities were then calculated as 0.25 and 0.52 for forests and scrubland, respectively.

Table 2. Burning efficiencies for different burn severities

Burn severity	**Burn Efficiencies (β)**	
	Forests	**Scrubland and Grassland**
Low	0.05	0.25
Moderate-Low	0.20	0.50
Moderate-High	0.30	0.75
High	0.50	1.00
Weighted Average	0.25	0.52

Emissions were calculated for each pollutant with the conversion factors (CF) recommended by the EMEP/EEA (2019) (Table 3). For particulates, conversion factors can be directly used to estimate emissions; however, emitted carbon mass, M(C), is required for gases. Hence, the carbon mass was calculated with the following equation:

$$\mathrm{M(C)} = 0.45 * \mathrm{M} \tag{4}$$

Table 3. Conversion factors for each pollutant

Pollutant	**CF**	**Unit**	**Reference**

NO_x	8	g X/kg C emitted	Andreae (1991)
CO	230	g X/kg C emitted	Andreae (1991)
SO_x	1.6	g X/kg C emitted	Andreae (1991)
TSP	17	g/kg wood burned	EPA (1996)
$PM_{2.5}$	9	g/kg wood burned	EPA (1996)
BC	9	% of PM2.5	EPA (2012)

Analysis of GFAS data

GFAS is an offline analysis system of Copernicus Atmospheric Monitoring Services, which is operated by ECMWF. GFAS has been widely used to estimate accurate biomass burn emissions, atmospheric compositions, climate monitoring and forecasting (Kaiser et al., 2012; Kumar et al., 2019). FRP is chosen for the derivation for the fire estimates since it is approximately proportional to the chemical energy released by the fires. In this regard, it is quantitatively associated with biomass combustion and aerosol emission rates (Ichoku and Kaufman, 2005). GFAS converts the combustion rate of dry matter using land-use-dependent conversion factors into emission estimates of 44 smoke constituents (Andela et al., 2013). GFAS relies on static emission factors based on the arithmetic means obtained from field measurements. Biomass-averaged emission factors (EFs), compiled by Andreae and Merlet (2001) and updated by Kaiser et al. (2012) were derived from measurements of fires in tropical forest savannas and grasslands, extratropical forests, tropical peats and agricultural areas.

The latest version (GFASv1.0) estimates the fire emissions by assimilating the FRP observations from the Moderate Imaging Spectroradiometer (MODIS) instruments onboard the Aqua and Terra satellites (Kaiser et al., 2009; Kaiser et al., 2012). The merged FRP and their products can be obtained from http:// apps. ecmwf.int/datasets/data/cams-gfas/ with a spatial resolution of 0.1°×0.1°. Emission fluxes for each fire zone were estimated with GFAS data, and emissions from GFAS and estimated emissions with the methodology developed herein were compared.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Burned Area and Burn Severity Estimations Comparisons

The severity of burn and the amount of burned areas were determined with Sentinel-2 images to determine air pollution caused by wildfires that occurred between July 15 and August 15, 2021. From the analysis of 18 different fire zones shown in Figure 1, it was demonstrated the most significant destruction was observed in the Manavgat (ID 3603) area. It was followed by Milas – Ören (ID 3508), Alanya (ID 3604), Kavaklıdere (ID 3503), Marmaris (ID 3510), and Aydıncık (ID 3606) when the total area burned was considered (Figure 2, Table 4).

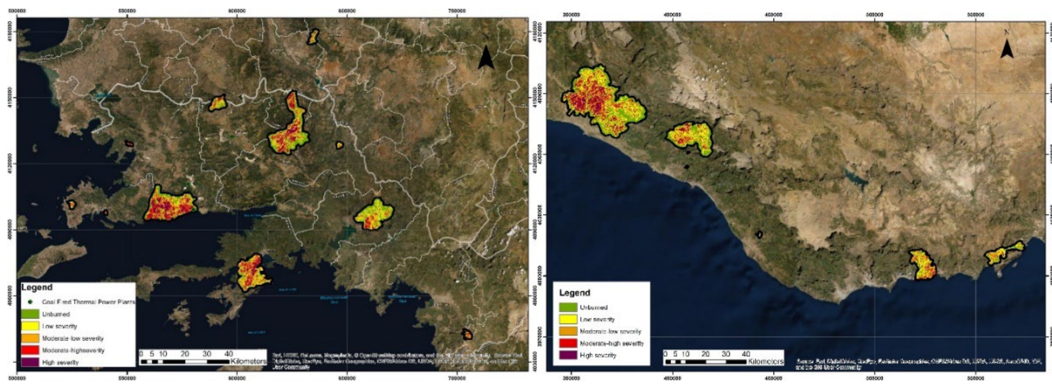


Figure 2. Burning severities in Western (UTM35) and Middle Mediterranean (UTM36) regions of Turkey

It was estimated that a total of 136709 ha in 18 fire zones was burned at different levels, and approximately 40% of the burned area had high and moderate-high severity. Further, EFFIS calculated the total burned area as 144871 ha, and polygon-based comparisons with EFFIS indicated that consistent results were obtained in almost all polygons. Only, EFFIS results were slightly overestimated in Köyceğiz (ID 3509) area (Table 4).

Table 4. Comparison results of burned area (ha) in different severity with EFFIS

ID	Province	District	Burn Severity					Total Area Burned	
			Unburned	Low	Moderate Low	Moderate High	High	This Study	EFFIS
3501	Aydın	Karacasu-Bozboğan	1250	410	181	169	124	884	672
3502	Aydın	Çine-Yatağan	2010	802	466	363	256	1887	2135
3503	Muğla	Kavaklıdere	10637	3921	3223	3312	3758	14214	15322
3504	Muğla	Menteşe	517	148	84	57	8	297	274
3505	Muğla	Milas - Kıyıkışlacık	298	77	41	100	21	239	190
3506	Muğla	Bodrum - Batı	427	308	148	120	3	578	360
3507	Muğla	Bodrum - Doğu	167	23	54	60	8	145	137
3508	Muğla	Milas - Ören	7939	3378	3383	4954	5038	16753	16157
3509	Muğla	Köyceğiz	7685	3924	2186	1203	619	7933	10366
3510	Muğla	Marmaris	4984	3432	3008	2782	2332	11553	11548
3511	Muğla	Fethiye-Seydikemer	759	181	172	159	68	580	492
3601	Isparta	Sütçüler	1737	624	277	174	81	1156	1256
3602	Burdur	Bucak	503	228	213	128	68	637	609
3603	Antalya	Manavgat	28441	17202	13653	10828	9871	51554	54769
3604	Antalya	Alanya	11303	6878	4012	2156	1386	14432	15910
3605	Antalya	Gazipaşa	307	126	47	28	24	225	266
3606	İçel	Aydıncık	4207	3992	3047	1718	284	9041	10205
3607	İçel	Silifke	3784	2567	1428	511	95	4601	4203
Total			86955	48221	35623	28822	24044	136709	144871

Emission Estimations and Comparisons

Reasonably good agreements were found for the emissions of all pollutants between the results of GFAS and the values calculated with the approach proposed in this study (Table 5, Figure 3). Only minor differences were observed for TSP and CO, which can be considered negligible. The results revealed good estimates for NO_x, CO, and $PM_{2.5}$ and were found to be slightly lower than GFAS values. On the contrary, SO_x and TSP were calculated to be slightly higher than GFAS values. In addition, BC results were found to be almost the same (Figure 3). This reasonably good agreement with GFAS values underlines the robustness of the FRP-based approach compared with burned area approach despite the different land cover classes and data sources.

CO and NO_x are critical emissions during a forest fire. The emissions of CO are highest during the smoldering phase of combustion, while NO_x (mostly NO_2) emissions occur mainly during the flame stage of combustion (Kumar et al., 2019). We estimated that an average of 395000 tons of CO and 13500 tons of NOx were released during the observation period. Different types of biomass sources partitioned into the forest, fuelwood, and other residues are the main contributors of CO and NO_x during burning (Kumar et al., 2019). Forest fires are also an important source of SO_x emissions. Approximately 2600 tons of SO_x were released from the analyzed forest fires over the burned area. The total contribution of these fires to the TSP, $PM_{2.5}$ and BC emissions over the burnt regions reached approximately 60000, 33000, and 3000 tons, respectively.

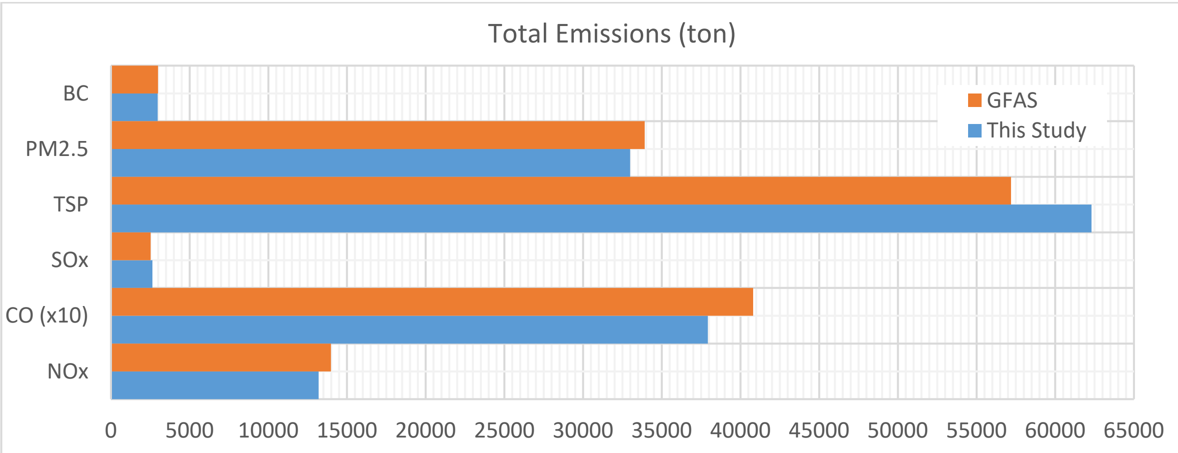


Figure 3. Estimated total emissions

The estimated emissions with the methodology proposed in this study were divided by the GFAS estimations to calculate the emission ratios. The emission ratios were calculated for each fire zone and pollutant. If the emission ratio is greater than 1, the proposed methodology produced higher emissions than GFAS, or if it is smaller than 1, the method produced lower emissions than GFAS. Accordingly, it can be seen that, in all fire zones, the emission ratios were close to 1 representing very similar results in both techniques. The best relations were detected in Kavaklıdere, Köyceğiz, Alanya, Manavgat and Aydıncık regions. In Kavaklıdere (ID 3503), where the emission ratios were calculated between 0.94 - 1.40. Similarly, very close values were determined in Köyceğiz (ID 3509), and emission ratios ranged between 0.75 and 0.89. Moreover, quite good relations were observed for all pollutants in Alanya (ID 3604), and the ratios ranged between 0.88 and 1.04. GFAS calculations are higher for all pollutants in Manavgat (ID 3603), and the emission ratios were calculated between 0.81-0.97. On the other hand, GFAS calculations were lower for all pollutants in Aydıncık (ID 3606), and the ratios were found between 1.05 and 1.24. Relatively poor agreements were found in Marmaris (ID 3510), and emission ratios were estimated to vary between 1.46 - 1.74. In Silifke (ID 3607), GFAS produced slightly higher results ranging between 0.54 and 0.64.

Table 5. Emission results for each fire zones

ID	NO_x		CO		SO_x		TSP		$PM_{2.5}$		BC	
	This Study	**GFAS**	**This Study**	**GFAS**	**This Study**	**GFAS**	**This Study**	**GFAS**	**This Study**	**GFAS**	**This Study**	**GFAS**
3501	78	31	2246	908	16	5	369	126	195	73	18	7
3502	164	71	4709	2204	33	21	773	368	409	268	37	12
3503	1593	1346	45800	40518	319	325	7523	6284	3983	4235	358	253
3504	23	5	647	159	5	1	106	22	56	13	5	1
3505	24	2	682	52	5	0	112	7	59	4	5	0
3506	8	13	217	381	2	2	36	53	19	30	2	3
3507	15	1	424	32	3	0	70	4	37	2	3	0
3508	2181	1821	62703	52732	436	317	10299	7305	5452	4248	491	396
3509	575	765	16543	22140	115	132	2717	3061	1439	1778	129	166
3510	1216	825	34951	23883	243	143	5741	3302	3039	1916	274	180
3511	56	123	1601	3580	11	21	263	494	139	287	13	27
3601	92	263	2643	7615	18	46	434	1054	230	611	21	57
3602	82	204	2349	5903	16	35	386	817	204	474	18	44
3603	5047	6111	145112	178645	1009	1056	23835	24697	12618	14406	1136	1325
3604	1090	1232	31349	35659	218	213	5149	4938	2726	2866	245	268
3605	17	10	475	290	3	2	78	40	41	24	4	2
3606	639	607	18379	17568	128	105	3019	2431	1598	1410	144	132
3607	295	546	8493	15808	59	95	1395	2187	739	1269	66	119
Total	13195	13976	379323	408077	2639	2519	62305	57190	32983	33914	2969	2992

CONCLUSIONS

The complex mixture of gases and particles formed during forest fires directly or indirectly changes the atmospheric compositions and regional climate conditions. In the present study, emissions of trace gases (CO, NO_x, SO_x) and particles (BC, PM_{10}, and TSP) have been investigated using a new methodology that utilizes Sentinel-2 satellite product using EMEP/EEA emission model and GFAS assimilation data from ECMWF during the wildfires of July-August 2021 over southern parts of Turkey. It was one of the most devastating forest fires in Turkey's history. The most extensive destruction was observed in the Manavgat area. It was followed by Milas – Ören, Kavaklıdere, Alanya, Marmaris and Aydıncık considering the total area burned. On the other hand, high burn severity rankings gave different results than the total area burned. This indicates that the area burned alone is not sufficient as an evaluation criterion.

In the areal comparisons, very concordant results were found. Thus, Sentinel-2 based analysis could be a reliable tool for determining burned areas due to the consideration of burned severity with a high spatial resolution. In emission estimations, particularly in gases, significant agreements were identified. The methodology presented in this study was found to be rationally reliable. It can be applied and verified in different fires in other parts of the world. As further work, the emission calculated in this study can effectively be used as accurate spatio-temporal source terms for short and medium-range atmospheric transport models to simulate the atmospheric dispersion of wildfire-origined contaminants.

References

Andela N, Kaiser J, Heil A, van Leeuwen TT, Wooster MJ, van der Werf GR, Remy S, Schultz MG (2013), Assessment of the Global Fire Assimilation System (GFASv1), Technical Momerandum, Shinfield Park, England.

Andreae M.O. and Merlet P. (2001), Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. Global Biogeochem. Cycles. https://doi.org/10.1029/2000GB001382.

Andreae M.O. (1991), Biomass burning. Its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. In J.S. Levine (ed.), Global Biomass Burning: Atmospheric, Climatic, and Biospheric Implications. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, pp. 3–21.

EFFIS (European Forest Fire Information System) (2021), EFFIS Annual Country Statistics for TR – Turkey, https://effis.jrc.ec.europa.eu/apps/effis.statistics/effisestimates, accessed 27 December 2021.

EMEP/EEA (Europen Environment Agency) (2019), Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019. 11.B Forest fires.

EPA (Environmental Protection Agency) (1996), Compilation of Air Pollutant Emission Factors Vol.1. Stationary, Point and Area Sources. Report AP-42 (fifth edition).

EPA (Environmental Protection Agency) (2012), Report to Congress on Black Carbon, USEPA Report EPA-450/R-12-001, March 2012.

ESA (European Space Agency) (2021), Sentinel-2, https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2 , accessed 27 December 2021.

Ichoku C. and Kaufman Y.J. (2005), A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. IEEE Geosci. Remote. Sci. 43, 2636–2649.

Kaiser J.W., Suttie M., Flemming J., Morcrette J.J., Boucher O., Schultz M.G.(2009), Global real-time fire emission estimates based on space-borne fire radiative power observations. AIP Conf. Proc. 1100, 645–648.

Kaiser J.W., Heil A., Andreae M.O., Benedetti A., Chubarova N., Jones L., Morcrette J.J., Razinger M., Schultz M.G., Suttie M., Van Der Werf G.R. (2012), Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observedfire radiative power. Biogeosciences 9, 527–554.

Kumar A., Bali K., Singh S., Naja M., Mishra A.K. (2019), Estimates of reactive trace gases (NMVOCs, CO and NO_x) and their ozone forming potentials during forest fire over Southern Himalayan region. Atmos. Res., 227, 41-51.

Koppmann R., Von Czapiewski K., Reid J.S. (2005), A review of biomass burning emissions, part I: gaseous emissions of carbon monoxide, methane, volatile organic compounds, and nitrogen containing compounds. Atmos. Chem. Phys. Discuss. 5, 10455–10516.

Lazaridis M., Latos M., Aleksandropoulou V., Hov Ø., Papayannis A., Tørseth K. (2008), Contribution of forest fire emissions to atmospheric pollution in Greece. Air Qual. Atmos. Health, 1, 143–158.

Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H. (2004), European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. Science, 303,1499–1503.

MacCracken M.C., Cess R.D., Potter G.R. (1986), Climatic effects of anthropogenic arctic aerosols: an illustration of climatic feedback mechanisms with one- and two-dimensional climate models. J. Geophys. Res. 91, 14445–14450.

Penner J.E., Ghan S.J., Walton J.J. (1991), The role of biomass burning in the budget and cycle of carbonaceous soot aerosols and their climate impacts. In: Levine JS (ed) Global biomass burning: atmospheric, climatic and biospheric implications. MIT, Cambridge, pp 387–393.

Seiler W. and Crutzen P.J. (1980), Estimates of gross and net fluxes of arbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning, Climatic Change 2, 207–247.

Stohl A., Berg T., Burkhart J.F., Fjǽraa A.M., Forster C., Herber A., Hov Ø., Lunder C., McMillan W.W., Oltmans S., Shiobara M., Simpson D., Solberg S., Stebel K., Ström J., Tørseth K., Treffeisen R., Virkkunen K., Yttri K.E. (2007), Arctic smoke—record high air pollution levels in the European Arctic due to agricultural fires in Eastern Europe in spring 2006. Atmos. Chem. Phys. 7, 511–534.

UCAR (University Corporation for Atmospheric Research) (1986), Global tropospheric chemistry: plans for the U.S. research effort. Office for Interdisciplinary Earth Studies, Boulder, CO.

United Nations (2021), Normalized Burn Ratio (NBR), https://un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-burn-severity/in-detail/normalized-burn-ratio , accessed 27 December 2021.

Urbanski S.P., Hao W.M., Baker S. (2008), Chapter 4 Chemical Composition of Wildland Fire Emissions. Dev. Environ. Sci. 8, 79-107.

Meteorological Analysis of the Flood Event on August 10-11, 2021 in Bartın, Kastamonu and Sinop

Emrah Tuncay ÖZDEMİR[1], Bahtiyar EFE[2], Ali DENİZ[3]
[1] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Atatürk Uluslararası Havalimanı Meteoroloji Ofisi, 34149, Yeşilköy, İstanbul, Türkiye
[2] Samsun Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 55200, Ondokuz Mayıs, Samsun, Türkiye
[3] İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, Türkiye
etozdemir@gmail.com; bahtiyar.efe@samsun.edu.tr; denizali@itu.edu.tr

ABSTRACT

The flood occurred on August 10-11, 2021 in Bartın, Kastamonu and Sinop in the Western Black Sea Region caused the death of 82 of our citizens. The precipitation amount of 302.4 mm is the record of last 66 years. In this study, the meteorological conditions for this extreme precipitation is analyzed by using satellite and radar images, synoptic maps and Skew-T Log-P diagram. According to the preliminary results, the low pressure system located in the South of Central Black Sea and its troughs gained more water vapor by their cyclonic motion. The unstable atmospheric conditions and convergence increased the capacity of the air to hold the water vapour. The orographing lifting after reaching to the land, the increased unstability of the system caused heavy rain and thunderstorm.

Keywords: Kastamonu, Bozkurt, flood, satellite, radar.

10-11 Ağustos 2021 Tarihlerinde Bartın, Kastamonu ve Sinop'ta Meydana Gelen Sel Hadiselerinin Meteorolojik Analizi

ÖZET

Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Bartın, Kastamonu ve Sinop İllerinde 10-11 Ağustos 2021 Tarihlerinde meydana gelen sel hadiseleri sonucu 82 vatandaşımız hayatını kaybetmiştir. Bu üç ilimiz için son 68 yıllık periyodun en yüksek günlük toplam yağış değeri olan 302.4 mm yağış kaydedilmiştir. Bu çalışmada bu ektrem yağış değerine neden olan meteorolojik koşullar analiz edilmiştir. Analizlerde uydu, radar, sinoptik haritalar ve Skew-T Log-P diagramı kullanılmıştır. Elde edilen ilk sonuçlara göre Orta Karadeniz'in güneyine merkezlenmiş alçak basınç sistemi ve buna bağlı troflar, bölge üzerinde siklonik dönüş yaparak denizden aldıkları nem miktarını artırmıştır. Kararsız atmosfer durumu ve konverjans alanı nedeniyle sistemin tutabildiği nem miktarı daha da artmıştır. Sistemin karayla buluşup orografik olarak yükselmesi sonucu, kararsızlığı daha da artarak, şiddetli sağanak ve gök gürültülü sağanak yağışlara neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kastamonu, Bozkurt, sel, uydu, radar.

Digitizing the Burned-Out Areas in the 2021 Antalya Wildfire with Remote Sensing Methods

Cema Dilge OHRİLİ, Ayşe Burcu ATALAR, Emirhan CEMEK, Eliz ÖZÖN, Rana Betül DAĞ, Melek Candan İPEK, Elçin TAN, Sevinç ASİLHAN SIRDAŞ

Istanbul Technical University
ohrili16@itu.edu.tr; atalar16@itu.edu.tr; cemek17@itu.edu.tr; ozon17@itu.edu.tr; dagr17@itu.edu.tr; ipek16@itu.edu.tr; elcin.tan@itu.edu.tr; sirdas@itu.edu.tr

ABSTRACT

Wildfires pose a deadly threat to human health, living things, and ecosystems due to the climate crisis in Mediterranean countries in semi-arid geography, including Turkey. On the other hand, the frequency, duration, and severity of heat waves may increase due to the climate crisis in Turkey. Heatwaves are atmospheric events that prepare the environment suitable for forest fires. During the heatwave between July 28 and August 3, 2021, 154 forest fires coincided in 38 provinces. The Antalya fire started in Manavgat on July 28 and lasted for ten days. It has affected five districts and 59 neighborhoods in total. The study aims to determine the burned-out areas in the Antalya wildfire, which continued between July 28 and August 6, 2021. MODIS data from Aqua and Terra satellites were used to process burned-out areas and detect fire source locations. MOD14 product of MODIS with 1 km spatial resolution Level-2 data is utilized for the analyses. Results show that 3199 locations are determined as fire source locations based on MODIS data, the total burned area in the Antalya wildfire is 57443 hectares.

Keywords: Wildfire, MODIS, Antalya wildfire 2021.

INTRODUCTION

The climate is one of the essential factors that alter the environment. According to the IPCC's Fourth Assessment Report, the overall temperature increase will be 1˚C-2˚C in the Mediterranean Region. As a result of this temperature change, drought occurrences may increase in large areas; heatwaves will be seen more frequently, especially in the interior areas (Ministry of Environment and Urbanisation, 2012). Globally adverse effects of climate change can be observed easily. As this issue becomes an essential part of our lives, more research is needed to understand the dynamics of climate change. One of the adverse and indirect effects of climate change is increased forest fires. Apart from that, the origin of the forest fires may be anthropogenic. According to the General Directorate of Forestry, 13853 fires were observed between 2016 and 2020, and 59,069 hectares of land were affected (2021). In addition, 89% of these fires were caused by human activities, while 11% were caused by lightning. Forest areas in Turkey are 30% of the total area, corresponding to 23 million hectares. Generally, the forest's existence is more intense in the coastal areas of Turkey. When we examine the study area, 56% of Antalya consists of forest areas.

Turkey is located in the Mediterranean climate zone. Due to its geographical location, most of the forests fall into forest fire risk areas; this rate covers 60% of the total forest area in Turkey (Ministry of Environment and Urbanization, 2012). With the fire risk map, it will be easier to evaluate forest fires and decide on solution methods. It is crucial to prepare a forest fire risk map according to the leading causes of these fires for all regions for planning. Forest fire risk maps define regions suitable for fire formation and can be spread easily to another area. For this purpose, extinguishing and monitoring forest fires; should be done right, early, and quickly. In order to extinguish fires with minor damage and prepare an operative fire management plan, it is necessary to understand and forecast the dynamic behavior of fire and the factors that affect fire formation (Dilekçi & Ateşoğlu, 2021).

Geographical parameters play an essential role in the spread of forest fire. As Özşahin stated, factors affecting forest fire risk can be classified as vegetation, elevation, slope, aspect, land use, distance to settlement, and road lines (2014). As it is known, vegetation is one of the most critical factors that determine the starting point and fire behavior of forest fires (Erten et al., 2005; Van de Water & Safford, 2011). Vegetation constitutes forest fire fuel, so the word fuel is generally used instead of vegetation in the literature. The density of the plant species and the mixture of these are the significant factors affecting the development of forest fire. Different plants react differently to fire. This difference can be shaped according to the water demands of the plants. Plants with low water demand are more sensitive to fire than those with high water demands (Karabulut, Karakoç, Gürbüz, & Kızılelma, 2013).

When we examine the study area, in Antalya wildfire, vegetation mainly consists of red pines. The conifers of the trees caused the fire to spread faster and over a larger area. Therefore, the fuel of the case study was red pines. Generally, red pine trees were found at lower altitudes, while black pines were found at higher altitudes in Manavgat.

As mentioned above, climate change causes an increase in the number of heatwaves are atmospheric events that prepare the environment suitable for forest fires to occur. For this reason, the increase in heatwaves will also cause an increase in forest fires. In July this year, Turkey struggled with fires that could not be extinguished for a long time in more than one place, Antalya. The Antalya fire started in Manavgat on July 28 and lasted for ten days. It has affected five districts and 59 neighborhoods in total. Figure 1 is a product of NASA's Fire Information and Resource Management system, called "FIRMS," monitoring fires worldwide using satellites. The areas where the fire started can be detected easily from the figure. Looking at the meteorological conditions in Manavgat, it can be observed that the temperature was 33 °C, the humidity was %13, and the wind speed was 10 m/s, which provides suitable conditions for fire. The fire started at four different points in Manavgat on Wednesday, July 28, at noon in Yeniköy, Sarılar, Bahçelievler, and Sorgun regions. There was a progression towards the northwest and northeast on a second day. On the fifth day, the fire spread to the north. Overall, it can be said that the fire started in the coastal areas and spread to the inner regions, to the north (Figure 2). From news sources, the burned area was around 50-60 hectares. The burned areas seen in Figure 2 were calculated by digitizing with appropriate methods.

This study evaluates burned areas in the Antalya wildfire, which occurred between July 28 and August 6, 2021. MODIS data from Aqua and Terra satellites were used to process burned-out areas and detect fire source locations. After the digitizations were made, the burned area was calculated, and the direction of the fire was shown. MOD14 product of MODIS with 1 km spatial resolution Level-2 data is utilized for the analyses.

Figure 1. Satellite image of Manavgat wildfire from FIRMS (Web-1).

Figure 2. Satellite image of Manavgat wildfire from EFFIS (Web-2).

DATA

MCD14DL thermal anomalies, fire locations product collected by Aqua and Terra platforms of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) instrument distributed by LANCE FIRMS has been used to compare temperatures between measurements remote sensing data during fire days. This product is the product to identify thermal anomalies and active fire areas with a resolution of 1 km. After this product is downloaded for Turkey, the associated days and regions are visualized with the help of QGIS. The shapefile of this product contains latitude, longitude, brightness temperatures from Channel 21/22 and Channel 31, confidence, satellite type, and acquisition type (Web-3).

MODIS Burned Area product MCD64A1 has been used for digitizing and calculating burned areas in Manavgat. MCD64A1 monthly, gridded 500 m data in HDF-EOS format obtained for Manavgat for July and August 2021. This product combines MODIS imageries with 500 meters resolution and MODIS active fire observations with 1-km resolution. It applies an algorithm using Vegetation Index (VI) by surface reflectance values from the fifth and seventh channels (ρ5 ve ρ7, respectively) of MODIS as in Equation 1 (Giglio et al., 2020).

$$VI = \frac{\rho 5 - \rho 7}{\rho 5 + \rho 7} \tag{1}$$

HDF-EOS formatted product has been converted to Geo-TIFF formatted file to detect burned cells and total area in QGIS (Giglio et al., 2020). The final map, which includes burned areas cumulatively, distinguishes between burned and unburned areas. The product has information on burn date in Julien Day format, burn date uncertainty, quality assurance, and first and last days for each pixel.

ERA-5 Land hourly reanalysis wind dataset used to investigate connection with wind direction fire propagation. Reanalysis datasets were utilized because the nearest in-situ observation was away from the burned area. A new continuous and consistent assimilated data set is created for this data set by combining the measurement data and derived from model outputs. A gridded wind dataset for Antalya is obtained with a resolution of 9-km in GRIB format. Eastward and northward wind components at 10 m were visualized with QGIS to determine whether they had a significant impact on the spread of the fire (Web-4).

METHODS

Firstly, the region's data to be studied is added to the QGIS program. The data set was used for the forest fire between 28 July and 5 August in the Manavgat district of Antalya province of Turkey. The primary information is latitude, longitude, brightness temperature (from channels 21/22 and 31), confidence value, and date information. The data resolution is 1 km. With this data set, two gifs were created showing the spread of the fire according to MODIS. One of these gifs shows the 21/22 channel brightness temperatures, and the other shows the 31st channel brightness temperatures. After adding the data set, OSM Standard Map and provincial and district borders were also added. Confidence values from 0-100 are available in the data for each point to assist the user in determining the data accuracy of the lit area pixels. Points with a confidence value of 50 and above were used. The individual images of each day were recorded and turned into gifs in the correct order. Before the image was saved, the legend was also added, and only the layers on the map were written. The brightness temperatures from the 21/22 and 31st channels, which correspond to the fire dates, were examined separately. The 21st and 22nd channel brightness temperatures, which have the same band gaps, are included in the data set as a single variable. This value was compared with the brightness temperature value obtained from the 31st channel.

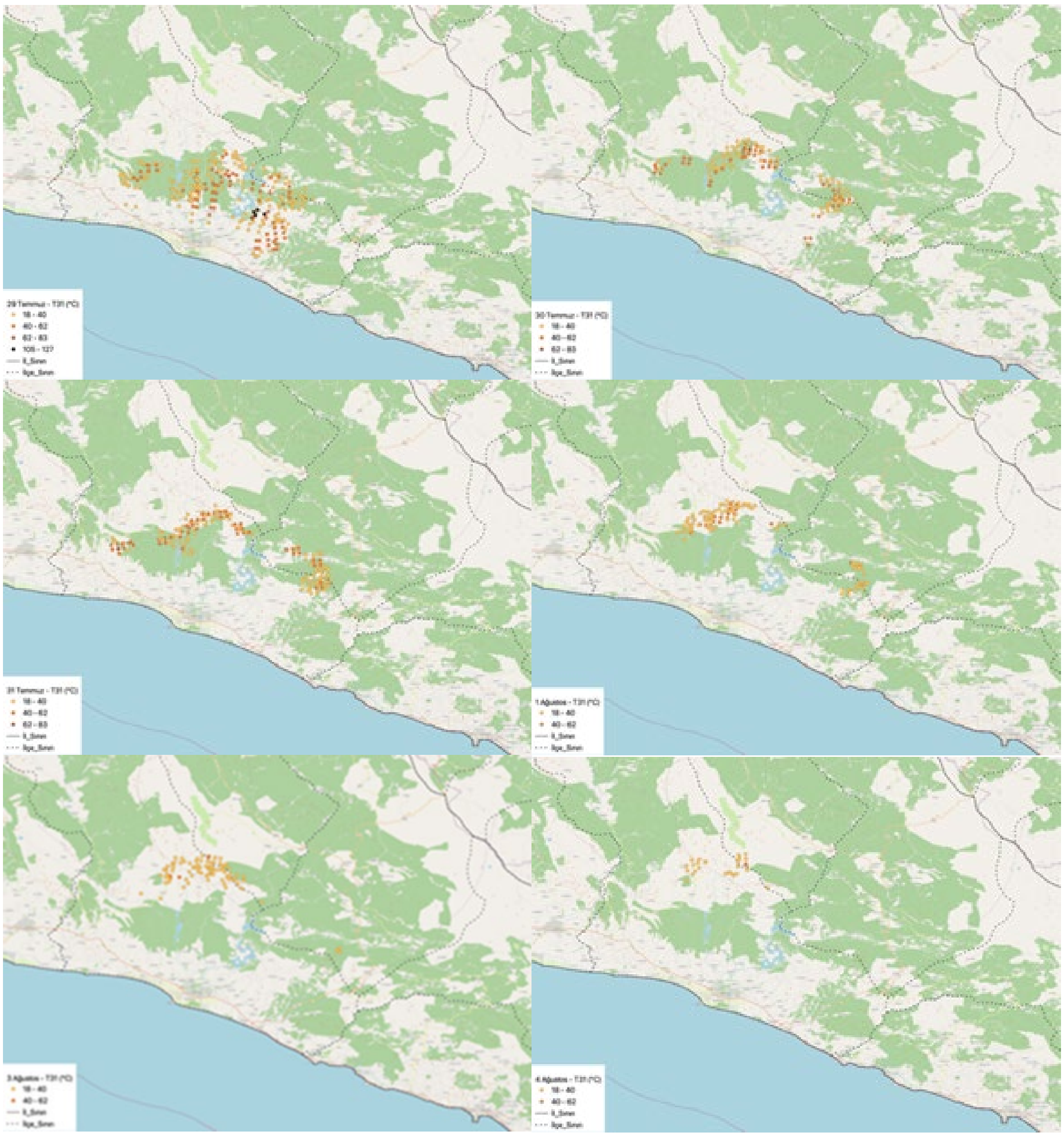


Figure 3. Brightness temperatures from Channel 31, MODIS from 29 July to 4 August

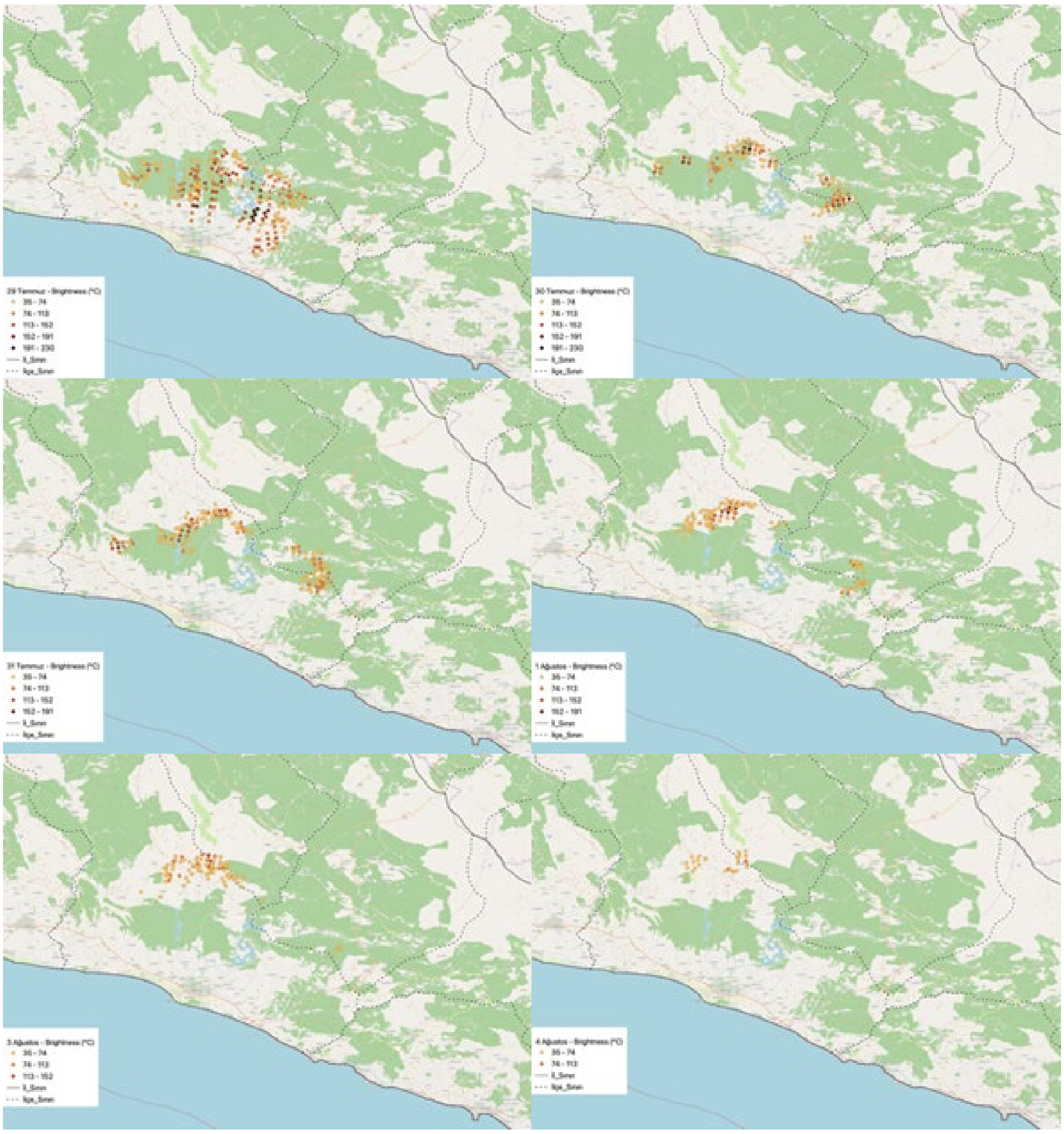


Figure 4. Brightness temperatures from Channel 21/22, MODIS from 29 July to 4 August

MCD64A1 product is used in order to calculate the total burned area. The data is in HDF-EOS format, which is not easy to manipulate. Thus, HDF-EOS to GeoTIFF was converted using "Hdf-Eos to GIS Conversion Tool (HEG)." Only "Burn Date" was selected from the variables since that is enough to calculate burned area (Figure 5).

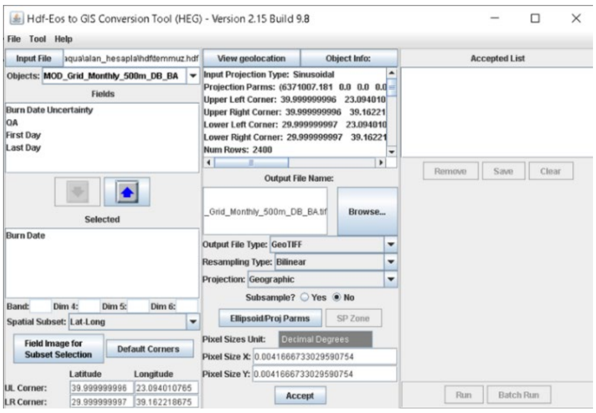


Figure 5. Converting the data from HDF-EOS to GeoTIFF format using HEG tool

The GeoTIFF files were added to QGIS as a raster. Files corresponding to July and August were processed separately. Only the values corresponding to fire dates were selected, and the color palette was changed to visualize the burned area (Figure 6). The "Clip Raster by Extent" tool is used to separate Manavgat and Gündoğmuş districts into different layers. The same analyses are performed on these layers, respectively. Since the same pixels might be included in the data for different dates, an error will occur if the burned areas for each date are summed directly. This approach is incorrect since the same area will be counted as burned more than once. "GRASS r.reclass" tool was used, and the value "1" was assigned to every date of interest (Figure 7) to overcome this problem.

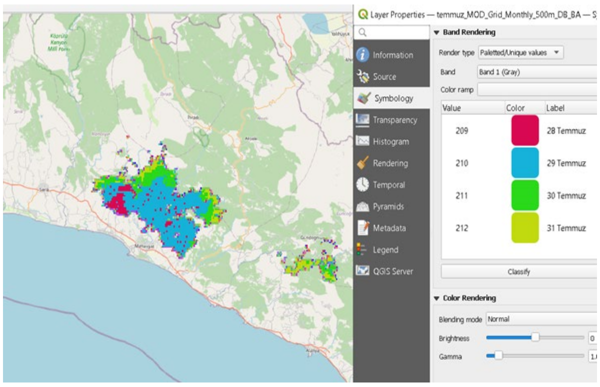


Figure 6. Visualizing the burned area

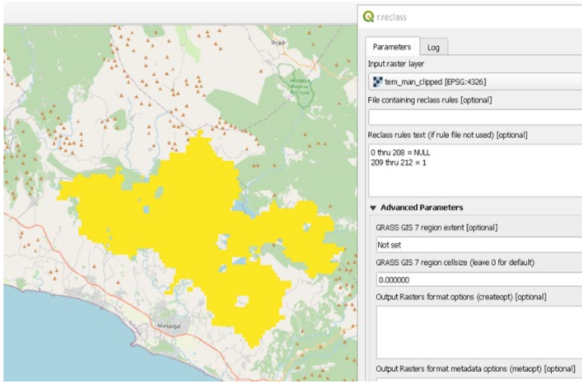


Figure 7. Using GRASS Raster Reclass Tool

Conversion from raster format to vector format is convenient since the calculation is more straightforward when dealing with polygons. Each raster layer is converted into polygons using the "Raster Pixels to Polygons" tool. Layers corresponding to months and districts are merged to obtain the total burned area (Figure 8). The projection was chosen WGS 84 / UTM ZONE 36N since it successfully represents the area around Antalya.

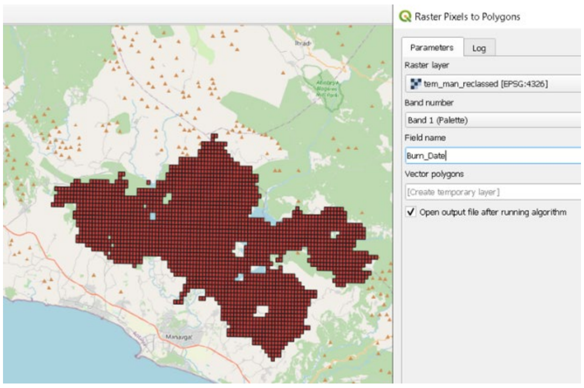


Figure 8. Merged vector of total burned area

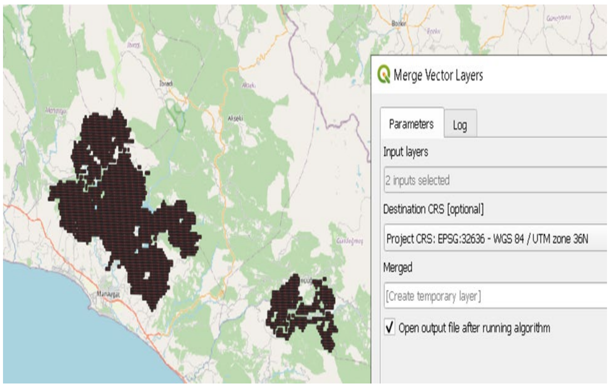


Figure 9. Calculation of burned area using "Field Calculator" tool

Finally, the unit for area measurement was chosen as "hectares" on QGIS. The "Field Calculator" was used by choosing the "$area" expression in order to calculate the area of each cell (Figure 9). Then the value was multiplied by the number of cells to obtain the total burned area as hectares. Results are given in Section 4.

RESULTS

This study qualitatively calculated the areas burned in the Manavgat forest fire on July 28, 2021. For this purpose, the fire points product obtained from the MODIS sensor in Aqua and Terra satellites was analyzed using QGIS. The total area burned in Antalya was calculated as 57443 hectares which agrees with the approximate value obtained from the news. The area burned in Manavgat and Gündoğmuş were calculated as 48637 and 8806 ha, respectively. The slight difference between these figures can be seen northwest of Manavgat since the fire continued for six more days after the satellite image was taken. In addition, the image of the burning areas digitized and visualized using QGIS matches with the satellite image of Landsat-8 almost perfectly, as can be seen in Figure 7.

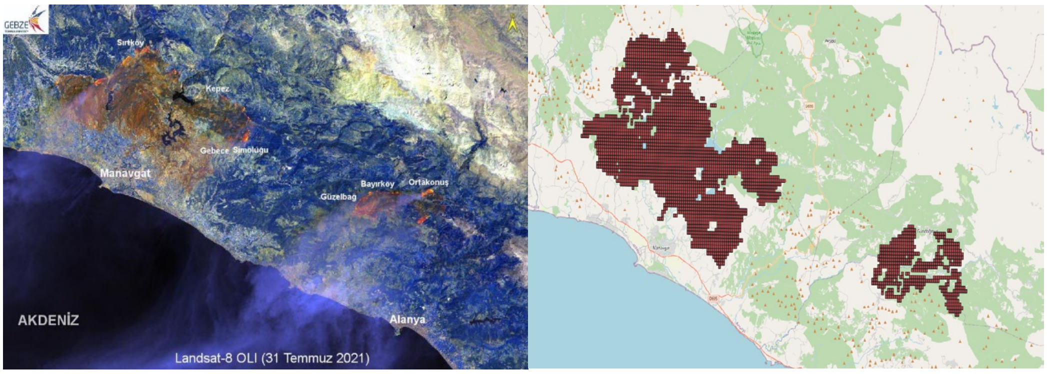


Figure 10. Satellite image of Landsat-8 (left)(Web-5) and digitized map of burned area in Antalya (right).

When the brightness temperatures measured in the MODIS sensor of the fire day and measurements are compared, it can be said that the brightness temperature of the 31st channel of MODIS is closer to the measurements than the 21st and 22nd channels (Figures 3 and 4).

Using the MODIS sensor, it is possible to detect the direction of fire propagation. The fire day's wind data and the fire's spread direction obtained from the satellite were evaluated together. As a result, the fire created its local atmospheric conditions, and its propagation direction differed from the mesoscale circulation pattern of those days, depending on local effects. These details need to be taken into account for an accurate assessment of fire propagation (Figure 8).

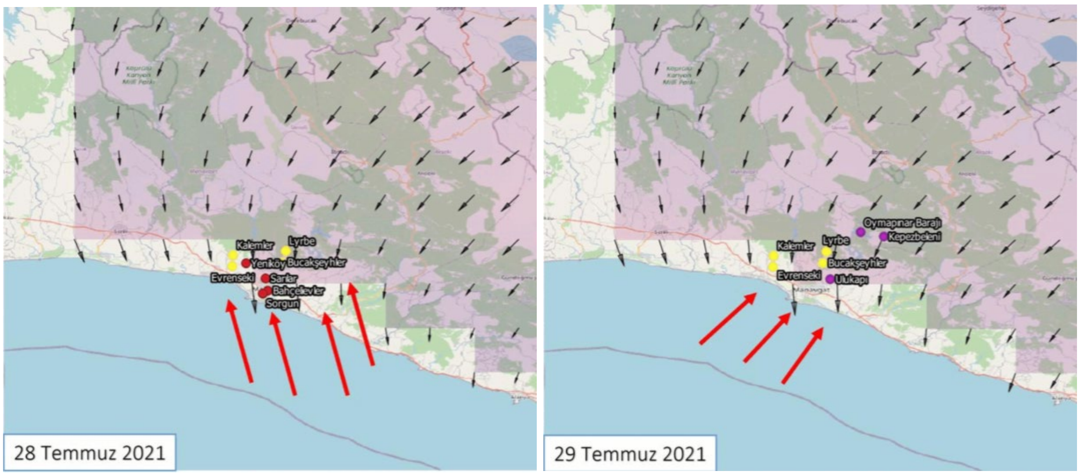


Figure 11. 10-meter wind vectors and propagation of fire at Manavgat.

CONCLUSION

A fire is a process of combustion, in other words, a chemical reaction that occurs between oxygen in the air and a combustible such as wood, paper, rubber, and plastic. Forest fires are one of the significant kinds of fires that appear due to atmospheric occurrences such as heatwaves worldwide, including in

Turkey. In 2021, 154 forest fires coincided in 38 provinces in Turkey during a heatwave between July 28 and August 3. The fire in Antalya started in Manavgat on July 28, and it lasted for ten days. The dominant forest species are Turkish pine and black pine in Manavgat, Antalya, located on the Mediterranean side of Turkey. Black pines are present in higher altitudes, while Turkish pines are located at lower altitudes of Manavgat. If Turkey's fire statistic is examined, it can be observed that the peak value of forest fire is reached in 2020 (OGM, 2020). This situation leads to doing a detail analyzing of forest fires in Turkey. This study uses MCD14L and MCD64A1 products of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) with 1 km spatial resolution Level-2 data obtained from Aqua and Terra satellites utilized to research the effects of meteorologic parameters and atmospheric conditions on the forest fire in Antalya through QGIS. This study shows that 3199 locations are established as fire source locations based on MODIS data, and a better representation of brightness temperatures can be achieved with the 31st channel. In total, 57443 hectares of the area were burned by the Antalya wildfire, creating local atmospheric conditions and spreading unrelated to the upper atmospheric wind.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study is conducted with the undergraduate students of team ITU Aqua.

REFERENCES

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012). Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2011-2023, Ankara.

Dilekçi, S., Marangoz, A. M., & Ateşoğlu, A. (2021). Zonguldak ve Ereğli Orman İşletme Müdürlükleri orman yangını risk alanlarının belirlenmesi. Geomatik, 6(1), 44-53, doi: 10.29128/geomatik.660623

Erten, E., Kurgun, V., Ve Musaoğlu, N. (2005). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanarak Orman Yangını Bilgi Sisteminin Kurulması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10, Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı-2005, Ankara.

Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D., Hoffmann, A. A., Humber, M., & Hall, J. V. (2016). Collection 6 modis burned area product user's guide version 1.0. NASA EOSDIS Land Processes DAAC: Sioux Falls, SD, USA.

Karabulut, M., Karakoç, A., Gürbüz, M., Kızılelma, Y. (2013). Coğrafi bilgi sistemleri kullanarak Başkonuş Dağında (Kahramanmaraş) orman yangını risk alanlarının belirlenmesi, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6(24), 171-179.

Orman Genel Müdürlüğü (2021). 2020 Yılı İdare Faaliyet Raporu, Ankara.

Özşahin, E. (2014). CBS ve AHS kullanılarak orman yangını duyarlılık analizi: Antakya Orman İşletme Müdürlüğü örneği, Route Educational and Social Science Journal, 1(3), 50-71. doi: 10.17121/ressjournal.106.

Van de Water, K., & Safford, H. D. (2011). a summary of fire frequency estimates for California vegetation before Euro-American settlement, Fire Ecology, 7(3), 26-58. doi: 10.4996/fireecology.0703026

Web-1: https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/

Web-2: https://www.ensonhaber.com

Web-3: https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/c6-mcd14dl#ed-firms-attributes

Web-4: https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview

Web-5: https://www.gtu.edu.tr/icerik/8/12549/display.aspx?languageId=2

Seasonal Investigation of Long-Term Variation of Extreme Sea Surface Temperatures in the Gulf of Antalya

Fevziye Ayça SARAÇOĞLU[1], Berna AYAT[2], Burak AYDOĞAN[3], Kebir Emre SARAÇOĞLU[4]
[1]Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
[2]Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
[3] Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
[4]İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
favarol@comu.edu.tr; ayat@inm.yildiz.edu.tr; baydogan@gtu.edu.tr; ksaracoglu@ogr.iu.edu.tr

ABSTRACT

Sea surface temperature is an important indicator of climate change. In this study, the long-term changes of the seasonal lowest and highest sea surface temperatures at Finike, Alanya, and Anamur stations in the Gulf of Antalya were examined. For these three stations, the Advanced Very High-Resolution Radiometer data (AVHRR) provided by National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) was compared with the sea surface temperature measurement data obtained from the Turkish State Meteorological Service (TSMS). The non-parametric Theil-Sen method was used to determine the long-term change trend of sea surface temperatures and the Mann-Kendall Test was used to determine its statistical significance. An upward trend of extreme sea surface temperatures has been identified at all stations, both seasonal and annual values. The highest increase with statistical significance is 0.060 °C/year in the annual maximum of Alanya's minimum measurement data; the lowest increase was achieved at the annual minimum of Alanya's maximum measurement data with 0.020 °C/year. The highest statistically significant increase is seen in the minimum measurement data at Alanya station with 0.073 °C/year in autumn and the lowest increase is seen in Anamur minimum measurement data with 0.024 °C/year in summer. In both measurement and satellite datasets, the trend of the highest increase compared to other seasons occurs in autumn. It was seen that the increase in sea surface temperatures in autumn was the highest in Alanya station compared to other stations. In the Gulf of Antalya, it has generally been determined that the increase in minimum sea surface temperatures is greater than the maximum sea surface temperatures.

Keywords: Extreme sea surface temperature, long-term trend, the Gulf of Antalya, seasonal change.

Antalya Körfezi'ndeki Ekstrem Deniz Suyu Yüzey Sıcaklıklarının Uzun Dönemli Değişiminin Mevsimsel İncelenmesi

ÖZET

Deniz yüzey sıcaklıkları iklim değişikliği açısından önemli bir göstergedir. Bu çalışmada, Antalya Körfezi'nde bulunan Finike, Alanya ve Anamur istasyonlarındaki mevsimsel en düşük ve en yüksek deniz suyu yüzey sıcaklıklarının uzun dönemli değişimleri incelenmiştir. Bu üç istasyon için National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) tarafından sağlanan yüksek çözünürlüklü radyometre verileri (AVHRR) ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) edinilen deniz suyu sıcaklıkları ölçüm verileri karşılaştırılmıştır. Deniz suyu yüzey sıcaklıklarının uzun dönemli değişim eğiliminin belirlenmesinde parametrik olmayan Theil-Sen metodu, istatistiksel anlamlılığının belirlenmesi için ise Mann Kendall Testi kullanılmıştır. Tüm istasyonlarda ekstrem deniz suyu yüzey sıcaklıklarının hem mevsimsel hem de yıllık değerlerinde artış eğilimi belirlenmiştir. İstatistiksel anlamlılığı olan en büyük artış 0.060 ^{0}C/yıl ile Alanya'nın minimum ölçüm verilerinin yıllık maksimumunda; en küçük artış ise 0.020 ^{0}C/yıl ile Alanya'nın maksimum ölçüm verilerinin yıllık minimumunda elde edilmiştir. İstatistiksel en büyük anlamlı artış sonbaharda 0.073 ^{0}C/yıl ile Alanya istasyonunda minimum ölçüm verilerinde, en düşük artış ise yaz mevsiminde 0.024 ^{0}C/yıl ile Anamur minimum ölçüm verilerinde görülmektedir. Hem ölçüm verileri hem de uydu verilerinde diğer mevsimlere göre en fazla artış eğilimi sonbahar mevsiminde gerçekleşmektedir. Sonbahar mevsimi deniz suyu yüzey sıcaklıklarındaki artışın diğer istasyonlara göre en fazla Alanya istasyonunda olduğu görülmüştür. Antalya Körfezi'nde genellikle minimum deniz yüzeyi sıcaklıklarındaki artışın maksimum deniz yüzeyi sıcaklıklarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

***Anahtar Kelimeler*:** Ekstrem deniz suyu yüzey sıcaklığı, uzun dönemli eğilim, Antalya Körfezi, mevsimsel değişim.

GİRİŞ

Deniz suyu yüzey sıcaklıkları (DSYS) iklim değişikliği, denizcilik, oşinografi, ekoloji, balıkçılık, enerji verimliliği vb. açılardan önemli parametrelerden biridir. Genel hidrolojik çevrim ve fırtına gibi birçok meteorolojik değişiklik ile ilgili olan bu parametre; denizler, okyanuslar ve atmosfer arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca diğer oşinografik parametrelerin ve anomalilerinin belirlenmesinde, gelecek dönem tahmininde ve modellenmesinde kullanılmaktadır. DSYS'nin değişimi iklim değişikliği ile doğrudan ilişkilidir. Ekstrem DSYS (EDSYS) ise özellikle ekolojik dengenin sürdürülebilmesi ve biyoçeşitliliğin korunabilmesi bakımından önem arz etmektedir.

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013)'te 19. yy.'nin sonlarından itibaren dünyanın birleştirilmiş kara ve deniz yüzey sıcaklıklarının lineer olarak arttığı belirtilmiştir. 1880-2012 yılları arasında ortalama 0,85 °C civarında artış olduğu ifade edilmiştir. Aynı raporda, ölçümlerin 20. yy.'nin başından itibaren deniz yüzey sıcaklıklarında da artış görüldüğü belirtilmiştir. IPCC (2013)'te verilmiş olan, 2012'ye kadar farklı zaman aralıkları ve farklı veri setleri için %90 güven aralığında elde edilmiş olan küresel ortalama deniz suyu sıcaklıklarının artış değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Farklı veri setleri için hazırlanmış olan bu tabloda; daha kısa zaman aralığında (1979-2012) eğilimler arasındaki farkın daha büyük olduğu anlaşılmaktadır. IPCC (2021)'de ise küresel ortalama DSYS'nin 20. Yy.'nin başından itibaren 0,88 ^{0}C/10 yıl arttığı ve 21. yy. süresince de ekosistemi daha da tehlikeye atarak artmaya devam edeceğinin neredeyse kesin olduğu belirtilmiştir.

Tablo 1. Küresel DSYS Değişimi (°C/10 yıl) (IPCC, 2013)

DATA	1880-2012	1901-2012	1901-1950	1951-2012	1979-2012
HadISST (Rayner vd. 2003)	0,042±0,007	0,052±0,007	0,067±0,024	0,064±0,015	0,072±0,024
COBE-SST (Ishii vd. 2005)	-	0,058±0,007	0.066±0.032	0,071±0,014	0,073±0,020
ERSSTv3b (Smith vd. 2008)	0,054±0,015	0,071±0,011	0,097±0,05	0,088±0,017	0,105±0,031
HadSST3 (Kennedy vd. 2011)	0,054±0,012	0,067±0,013	0,117±0,028	0,074±0,027	0,124±0,030

Birçok araştırmacı Akdeniz ve Ege Denizi DSYS'nin uzun dönemli değişim eğilimlerini analiz etmiştir. Günümüze kadar yapılan bu çalışmalardan başlıcaları ve elde ettikleri eğilim değerleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Farklı zaman aralıkları ve veri setleri kullanılarak gerçekleştirilmiş olan bu çalışmalarda bütün araştırmacılar Akdeniz ve Ege Denizi DSYS'nin artış eğilimi gösterdiğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, Antalya Körfezi'nde EDSYS değişim eğilimlerinin mevsimsel özelliklerinin ve veri setine özgü farklılıkların ortaya konulması amacıyla Finike, Alanya ve Anamur istasyonlarındaki en düşük ve en yüksek EDSYS'nın uzun dönemli değişimi incelenmiştir.

Tablo 2. Akdeniz ve Ege Bölgesi için Literatürdeki Yıllık DSYS Eğilimleri (Saraçoğlu vd., 2021)

Kaynak	**Zaman Aralığı**	**Çalışma Alanı**	**Kullanılan Veri Tabanı**	**DSYS artış değeri (^{0}C/yıl)**
D'Ortenzio vd. (2000)	1985-1996	Tüm Akdeniz	AVHRR-Pathfinder/ MEDATLAS	artış yok
Lelieveld vd. (2002)	1980-2000	Tüm Akdeniz		0,03
Criado-Aldeanueva vd. (2008)	1992-2005	Tüm Akdeniz	NOAA OI	0,061
Nykjaer (2009)	1985-2006	Doğu Akdeniz	AVHRR	0,05
Skliris vd. (2011)	1985-2008	Ege	AVHRR/ICOADS	0,045
Skliris vd. (2011)	1992-2008	Ege	AVHRR/ICOADS	0,055
Skliris vd. (2012)	1985-2008	Tüm Akdeniz	AVHRR/ NOCS (V.2)	0,037
Skliris vd. (2012)	1985-2008	Doğu Akdeniz	AVHRR/ NOCS (V.2)	0,042
Shaltout ve Omstedt (2014)	1982-2012	Tüm Akdeniz	AVHRR	0,035
Shaltout ve Omstedt (2014)	1982-2012	Doğu Akdeniz	AVHRR	0,042
Pastor vd. (2018)	1982-2016	Tüm Akdeniz	GHRSST Level 4/AVHRR_OI	0,036
Mohamed vd. (2019)	1993-2017	Tüm Akdeniz	AVHRR	0,036
Saraçoğlu vd. (2021)	1982-2020	Ege ve Doğu Akdeniz	AVHRR_OISSTv2.1	0,039

YÖNTEM

Bu çalışmada Optimal Interpolation Sea Surface Temperature (OISST-V2) uydu verileri ile MGM ölçüm verileri kullanılmıştır. Bu ölçüm sürecinin karışıklığı sebebiyle, verilerin büyük kısmı yerinde yapılan ölçüm verileri ile kalibre edilmektedir (IPCC, 2013). NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) tarafından geliştirilen 'geliştirilmiş çok yüksek çözünürlüklü radyometre' (AVHRR) bu amaçla kullanılmaktadır. Bu 0.25°x0.25° çözünürlükteki veri seti uydulardan, gemilerden ve şamandıralardan alınan ölçümlerin asimilasyonuyla elde edilmektedir. Bu çalışmada, uydu verileri olarak 1982-2020 tarihleri arasında günlük ölçümlerden elde edilmiş aylık deniz yüzey sıcaklık değerleri ile mevsimsel deniz yüzey sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den Antalya Körfezi için belirlenen üç istasyonda (Finike-Alanya-Anamur) 1982-2020 tarihleri arasındaki günlük deniz suyu sıcaklıkları ölçümlerinden elde edilmiş mevsimsel deniz suyu sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Bu istasyonların konumları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Eğilim analizi için kullanılan istatistiksel yöntemler parametrik ve parametrik olmayan yöntemler olarak sınıflandırılmaktadır. Parametrik olmayan yöntemler; eksik verilerin olduğu zaman serileri ile de kullanılabilmesi ve herhangi bir dağılıma uygun olma zorunluluğu olmaması nedeniyle daha çok tercih edilmektedir. Özellikle hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda zaman serilerinin incelenmesinde parametrik olmayan yöntemlerden biri olan Theil-Sen metodu (Theil (1950) ve Sen (1968)) kullanılmaktadır. Bu yöntem en küçük kareler yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir ve zaman serilerindeki aykırı değerlere karşı hassasiyeti az olan bir yöntem olduğu için sıklıkla tercih edilmektedir. Literatürde bu yöntemin kullanıldığı birçok çalışma (Aydoğan ve Ayat, 2018; Çarpar vd. 2020, Saraçoğlu vd., 2021) mevcuttur. Bir diğer parametrik olmayan Mann-Kendall Testi (Mann (1945) ve Kendall (1970)) ile de istatistiksel olarak anlamlılık düzeyi belirlenmiştir.

Şekil 1. Çalışma Alanı: Antalya Körfezi DSYS ölçüm istasyonlarının konumları.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Saraçoğlu vd. (2021) dikkate alınan üç istasyon için (Finike, Alanya, Anamur) DSYDS ölçüm verileri ile uydu verileri arasında iyi uyum olduğunu bildirmiştir. Tüm istasyonlar için iki veri setinin karşılaştırılması ve istatistiksel parametreleri Tablo 3'te verilmiştir. Yıllık ortalama, minimum ve maksimum DSYS değerleri arasındaki en düşük korelasyon katsayıları 0.64, 0.58 ve 0.59 ile Anamur istasyonunda görülmektedir. En yüksek korelasyon ise 0.83'ten daha büyük korelasyon katsayıları ile Alanya istasyonun tespit edilmiştir. RMSE'lerin 0.71°C'den daha küçük olduğu görülmektedir. İki veri seti arasında genellikle pozitif BIAS değerlerinin olduğu yani uydu verilerinin ölçüm verilerinden daha büyük olduğu anlaşılmaktadır.

Yıllık minimum veri setinin minimum değeri ve yıllık maksimum veri setinin maksimum değeri olarak belirlenmiş olan ekstrem değerler Tablo 4'te verilmiştir. En düşük DSYS ekstrem değerleri incelendiğinde Kış ve Sonbahar mevsimlerinde üç istasyon için de uydu verilerinin ölçüm verilerinden büyük olduğu görülmektedir. İlkbahar ve yaz mevsiminde ise Finike istasyonun ölçüm verileri uydu verilerinden büyükken diğer istasyonlarda yine uydu verilerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Maksimum ekstremlere bakıldığında Kış mevsiminde tüm istasyonlarda uydu verilerinin ölçüm verilerinden büyük olduğu söylenebilir. İlkbaharda Finike ve Anamur'da yine uydu verilerinin ölçüm verilerinden büyük olduğu iken Alanya'da küçük olduğu belirlenmiştir. Yaz mevsiminde ise Finike'de uydu verilerinin ölçüm verilerinden büyük iken Alanya da tam tersi durum söz konusudur. Sonbaharda ise tüm istasyonlarda ölçüm verileri daha büyüktür.

Tablo 3. Yıllık Ortalama, maksimum ve minimum DYS'nın İstatistiksel Parametreleri (Saraçoğlu vd. 2021)

	İstasyon	**Veri**	**En Büyük (°C)**	**En Düşük (°C)**	**Ortalama (°C)**	**Standart Sapma**	**Çarpıklık**	**Korelasyon Katsayısı**	**RMSE (°C)**	**BIAS (°C)**	**SI**
Ort.	Finike	TSMS	22.74	20.48	21.81	0.55	-0.46	0.80	0.34	0.01	1.54
		OI SST v2	23.06	20.98	21.82	0.49	0.29				
	Alanya	TSMS	23.44	21.00	21.96	0.61	0.22	0.87	0.40	0.26	1.80
		OI SST v2	23.34	21.30	22.22	0.49	0.00				
	Anamur	TSMS	22.71	20.16	21.54	0.58	-0.59	0.64	0.64	0.44	2.95
		OI SST v2	23.06	21.15	21.98	0.47	0.06				
En büyük	Finike	TSMS	23.99	21.71	22.93	0.55	-0.15	0.80	0.36	0.13	1.55
		OI SST v2	24.25	22.18	23.06	0.49	0.17				
	Alanya	TSMS	24.70	22.13	23.19	0.58	0.39	0.83	0.43	0.29	1.87
		OI SST v2	24.41	22.61	23.48	0.47	-0.06				
	Anamur	TSMS	23.71	21.52	22.68	0.51	-0.15	0.58	0.71	0.56	3.14
		OI SST v2	24.18	22.43	23.24	0.46	-0.09				
En küçük	Finike	TSMS	21.65	19.40	20.69	0.54	-0.46	0.72	0.43	-0.16	2.10
		OI SST v2	21.89	19.50	20.52	0.55	0.23				
	Alanya	TSMS	21.58	19.28	20.67	0.66	-0.30	0.85	0.44	0.26	2.12
		OI SST v2	22.15	19.91	20.93	0.55	-0.07				
	Anamur	TSMS	21.60	18.53	20.31	0.69	-0.71	0.59	0.70	0.41	3.45
		OI SST v2	21.87	19.83	20.72	0.52	0.09				

EDSYS eğilim değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Eğilim değerlerinin %95, %97, %99 ve %99,9 istatistiksel anlamlılık düzeyleri de tabloda belirtilmiştir. Ekstrem değerlerin çok büyük çoğunluğunda en az %95 istatistiksel anlamlılık düzeyinde artış eğilimi olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel anlamlılığı olmayan sadece Anamur istasyonunun minimumun minimumu ve maksimum veri setinin de minimum-maksimum MGM ölçüm verileridir. İki veri setinin de ortalama değerlerinin %99,9 anlamlılık düzeyinde 0,031-0,050 ^{0}C aralığında artış gösterdiği anlaşılmaktadır. İstatistiksel anlamlılığı olan en büyük artış 0,060 ^{0}C ile, en küçük artış ise 0,020 ºC ile Alanya'da belirlenmiştir. Bu artış değerlerinin daha önceki çalışmalarda elde edilmiş olan artış eğilim değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Finike ve Alanya istasyonlarında iki veri setinin ortalama ve maksimum değerlerindeki artış eğilimleri incelendiğinde ölçüm veri setlerindeki artış değerlerinin uydu verilerine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm istasyonlarda her iki veri setinin de maksimum değerlerinde; artışın ölçüm istasyonlarında uydu verilerine göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

EDSYS'nin mevsimsel eğilim değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Kış ve Sonbahar mevsimlerinin tamamı, tüm istasyonlarda hem en düşük hem de en yüksek EDSYS değerleri için genellikle istatistiksel olarak anlamlı artışlar göstermektedir. İstatistiksel olarak anlamlı olmayan artışlar sadece Anamur istasyonunun ölçüm verilerinde belirlenmiştir. İstatistiksel en büyük anlamlı artış Alanya istasyonunda 0,073 ºC ile sonbaharda en düşük EDYS ölçüm verilerinde, en düşük anlamlı artış ise 0,024 ºC ile Anamur istasyonunda en düşük EDSYS ölçüm verilerinde yaz mevsiminde görülmektedir. Hem ölçüm verileri hem de uydu verilerinde diğer mevsimlere göre en fazla artış sonbaharda olmaktadır.

Tablo 4. Mevsimsel en düşük ve en yüksek EDSYS değerleri (^{0}C)

İstasyon	Veri	*Kış*	*İlkbahar*	*Yaz*	*Sonbahar*
En düşük EDSYS					
Finike	OI SST v2	16,08	15,53	22,84	21,74
	MGM	14,83	15,97	24,10	21,23
Alanya	OI SST v2	16,12	16,11	23,96	22,10
	MGM	15,10	15,40	23,57	21,93
Anamur	OI SST v2	16,15	16,02	23,29	22,41
	MGM	12,67	15,40	22,13	21,33
En yüksek EDSYS					
Finike	OI SST v2	20,27	21,78	29,01	27,23
	MGM	19,90	21,63	28,70	27,53
Alanya	OI SST v2	20,46	21,95	29,16	27,75
	MGM	19,73	22,13	29,33	28,70
Anamur	OI SST v2	20,18	21,71	29,00	27,76
	MGM	20,00	20,63	29,00	27,90

Tablo 5. EDSYS eğilim değerleri, (^{0}C/yıl)

			Ortalama	En yüksek	En düşük
En düşük	Finike	MGM	0,040	0,043	0,040
		OI SST v2	0,039	0,040	0,044
	Alanya	MGM	0,050	0,060	0,050
		OI SST v2	0,038	0,050	0,035
	Anamur	MGM	0,036	0,056	0,037
		OI SST v2	0,038	0,050	0,037
En yüksek	Finike	MGM	0,042	0,044	0,033
		OI SST v2	0,034	0,023	0,021
	Alanya	MGM	0,039	0,047	0,022
		OI SST v2	0,031	0,023	0,020
	Anamur	MGM	0,028	0,027	0,005
		OI SST v2	0,031	0,026	0,026

* %95 %97 %99 %99.9

Sonbahar mevsimindeki bu yüksek artış eğiliminin diğer iki istasyona göre Alanya istasyonunda en yüksek değeri aldığı görülmüştür. Kış mevsimi dışındaki diğer mevsimlerde; en düşük EDSYS veri setindeki artışlar çoğunlukla en yüksek EDSYS veri setindeki artışlardan büyüktür. Kış mevsiminde tüm istasyonlarda uydu veri setinde e düşük EDSYS değerlerindeki artış eğilimi, maksimum EDSYS değerlerindeki artış eğiliminden daha yüksektir. Dolayısıyla genellikle en düşük EDSYS değerlerindeki artış eğilimi değerinin en yüksek EDSYS değerlerindeki artış eğiliminden daha yüksek olduğu söylenebilir. Kış ve sonbahar mevsimlerinde her üç istasyonda da ölçüm verilerinden elde edilen artış eğilimi değeri, uydu verilerinden elde edilen artış eğilimi değerinden daha yüksektir.

Tablo 6. EDSYS'nin mevsimsel eğilim değerleri, (^{0}C/yıl)

			Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
En düşük	Finike	MGM	0,039	0,029	0,026	0,060
		OI SST v2	0,037	0,039	0,034	0,047
	Alanya	MGM	0,044	0,049	0,041	0,073
		OI SST v2	0,034	0,036	0,039	0,051
	Anamur	MGM	0,042	0,017	0,024	0,067
		OI SST v2	0,028	0,036	0,040	0,043
En yüksek	Finike	MGM	0,051	0,031	0,025	0,058
		OI SST v2	0,034	0,027	0,035	0,038
	Alanya	MGM	0,046	0,028	0,031	0,059
		OI SST v2	0,033	0,030	0,029	0,040
	Anamur	MGM	0,033	0,000	0,014	0,049
		OI SST v2	0,032	0,031	0,028	0,035

* %95 %97 %99 %99.9

SONUÇLAR

Kış ve sonbahar mevsimlerinde tüm istasyonlar için ölçüm verilerinden elde edilen en düşük EDSYS değerleri uydu verilerinden elde edilenlere göre daha küçüktür. En yüksek EDSYS veri setlerinde, sonbahar mevsiminde tüm istasyonlarda ölçüm değeri uydu verisinden elde edilen değerden büyüktür. EDSYS değişim eğilimi değerlerinin büyük çoğunluğunda en az %95 istatistiksel anlamlılık düzeyinde artış eğilimi olduğu belirlenmiştir. İstatistiksel anlamlılığı olan en büyük artış 0,060 ^{0}C ile, en küçük artış ise 0,020 °C ile Alanya'da belirlenmiştir. İstatistiksel olarak anlamlı en büyük artış eğilimi 0,073 ^{0}C/yıl ile Alanya istasyonunda en düşük EDSYS ölçüm verilerinde sonbaharda, en düşük artış eğilimi değeri ise 0,024 ^{0}C/yıl ile Anamur istasyonunda en düşük EDSYS ölçüm verilerinde yaz mevsimi için elde edilmiştir. Kış mevsimi için EDSYS değerleri karşılaştırıldığına, hem en düşük, hem de en yüksek DSYS değerlerinde uydu verilerinin MGM ölçüm verilerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Hem ölçüm hem de uydu EDSYS verilerine göre en yüksek artış eğilimi değeri sonbahar mevsimi için elde edilmiştir. Sonbahar mevsimi için elde edilen EDSYS artış eğilimi incelendiğinde en yüksek değerin Alanya istasyonu için elde edildiği görülmüştür. Kış mevsimi dışındaki diğer mevsimlerde genellikle en düşük EDSYS'deki artış eğilimleri, en yüksek EDSYS'deki artış eğilimlerinden daha yüksektir. Kış ve sonbahar mevsimlerinde her üç istasyonda da ölçüm değerlerinden elde edilen artış eğilimi değerleri uydu verilerinden elde edilenlere göre daha yüksektir.

TEŞEKKÜR

Deniz suyu sıcaklık ölçümleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne; uydu verileri için National Centers for Environmental Information of United States National Oceanic, Atmospheric Administration (NOAA)'ya teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

Aydoğan, A., and Ayat, B. (2018). *Spatial variability of long-term trends of significant wave heights in the Black Sea*. Applied Ocean Research, 79, 20–35.

Criado-Aldeanueva F., Del Rio J., Garcia-Lafuente J., (2008) "*Steric and mass-induced Mediterranean Sea level trends from 14 years of altimetry data*", Global Planet Chang 60 (3-4): 563-575.

Çarpar, T., Ayat, B., and Aydoğan, B. (2020). *Spatio-seasonal variations in long-term trends of offshore wind speeds over the black sea; an inter-comparison of two reanalysis data*. Pure and Applied Geophysics, 177, 3013–3037.

D'Ortenzio F., Marullo S., Santoleri R., (2000). "*Validation of AVHRR Pathfinder SST over the Mediterranean Sea*", Geophys. Res. Lett., 27 (2), 241–244.

IPCC (2013), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. The contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (1535 pp.).

IPCC (2021), Climate Change 2021: The Physical Science Basis. The contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, In press. (3949 pp.).

Ishii, M., Shouji, A., Sugimoto S., ve Matsumoto T. (2005). "Objective analyses of sea surface temperature and marine meteorological variables for the 20th century using icoads and the Kobe collection". Int. J. Climatol., 25, 865–879.

Kendall, M.G., (1970). "Rank Correlation Methods", Second ed., Hafner, New York.

Kennedy, J. J., Rayner N. A., Smith R. O., Parker D. E, ve Saunby M., (2011). "Reassessing biases and other uncertainties in sea surface temperature observations measured in situ since 1850: 2. Biases and homogenization". J. Geophys. Res Atmos., 116, D14104

Mann, H.B. (1945). "Nonparametric tests against trend", Econometrica. 13: 245–259.

Marullo S., Buongiorno Nardelli B., Guarracino M., Santoleri R, (2007). "Observing The Mediterranean Sea from space: 21 years of Pathfinder-AVHRR Sea Surface Temperatures (1985 to 2005): Reanalysis and validation", Ocean Science, 3, 299-310.

Mohamed, B., Abdallah, A. M., Alam El-Din, K., et al. (2019). Inter-annual variability and trends of sea level and sea surface temperature in the Mediterranean Sea over the last 25 years. Pure and Applied Geophysics, 176, 3787–3810. https://doi.org/10.1007/s00024-019-02156-w

Nykjaer, L. (2009). Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. Climate Research, 39, 11–17.

Pastor F., Valiente J.A. ve Palau J.L., (2018), "Sea Surface Temperature in the Mediterranean: Trends and Spatial Patterns (1982-2016)", Pure Appl. Geophys. 175, 4017-4029.

Rayner, N. A., Parker D.E., Horton E.B., Folland C.K., Alexander L.V., Rowell D.P., Kent E.C. Kaplan A. (2003), "Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century". Jour. of Geophysıcal Research Atmospheres, 108, D14.

Saraçoğlu F.A., Aydoğan B., Ayat B., Saraçoğlu K.E. (2021). Spatial and Seasonal Variability of Long-Term Sea Surface Temperature Trends in Aegean and Levantine Basins, Pure and Applied Geophysics, 178, 3769-3791.

Sen, P.K., (1968). "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau", J. Amer. Statist. Assoc. 63 1379-1389.

Shaltout M., ve Omstedt A., (2014), "Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea", Oceanologia, 56 (3), 411-443.

Skliris N., Sofianos S., Gkanasos A., Axaopoulos P., Mantziafou A., Vervatis V., (2011). "Long-term Sea surface temperature variability in the Aegean Sea", Advances in Oceanography and Limnology, 2(2), 125-139.

Skliris N., Sofianos S., Gkanasos A., Mantziafou A., Vervatis V., Axaopoulos P., Lascaratos A., (2012). "Decadal-scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability", Ocean Dynam., 62 (1), 13–30.

Smith, T. M., Reynolds R. W., Peterson T. C., ve Lawrimore J., (2008). "Improvements to NOAA's historical merged land-ocean surface temperature analysis (1880–2006)", J. Clim.,21: 2283–2296.

Theil, H., (1950). "A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis", I. Proc. Kon. Ned. Akad. v. Wetensch. A53: 386-392.

Evaluating Evapotranspiration with Satellite Based SEBAL Method: Karacabey Plain Tomato Case Study

Kerim Atilla KORKMAZ
Istanbul Technical University
Graduate School, Department of Atmospheric Sciences
korkmazk15@itu.edu.tr

ABSTRACT

Evaporation is a meteorological variable that is relatively easy to measure and difficult to calculate. When evaporation combined with plant transpiration, it becomes evapotranspiration. In this study, evapotranspiration amounts of tomato plants were calculated for Karacabey Plain in Bursa by using SEBAL Method. Since Karacabey Plain is one of the biggest zone for tomato production in Turkiye, reducing water usage for tomato production will help farmers to have smaller water footprint also.

SEBAL Method (Surface Energy Balance Algorithm For Land) uses satellite images and micrometeorological variables for calculating evapotranspiration. Remote sensing variables as NDVI, LAI and surface temperature parameters from satellite images; reference evapotranspiration data obtained from the Penman-Monteith method was used for evapotranspiration calculation. Beside these datasets, as a result of the synthesis of micrometeorological methods, the evapotranspiration amount of the tomato plant was calculated as a case analysis. After that processes, SEBAL results compared with Penman-Monteith Method results.

It has been seen that SEBAL Method suffers from disadvantages of remote sensing methods. Cloudy weather and temporal discontinuity may highly degrade evapotranspiration amount results. Despite of that, SEBAL can be a powerful method for calculating evapotranspiration values of large areas. Even without crop type and sowing date information, SEBAL gives consistent results with other methods.

During these calculations, Landsat 8 images, GTOPO30 DEM dataset and ERA5 Land meteorological dataset were used. It was seen that the SEBAL Method can be a powerful auxiliary tool for understanding spatial distribution of actual evapotranspiration.

Keywords: Evaporation, evapotranspiration, SEBAL, Penman-Monteith, Karacabey, tomato, micrometeorology

Sebal Yöntemi İle Uydu Tabanlı Evapotranspirasyon Hesaplanması Karacabey Ovası Domates Örneği

ÖZET

Bu çalışmada SEBAL Yöntemi kullanılarak, Bursa Karacabey Ovası için domates bitkisinin evapotranspirasyon miktarları hesaplanmıştır. Karacabey Ovası ülkemizdeki domates üretiminin en büyük merkezlerinden biri olduğu ve domates bitkisi de yüksek miktarda su tüketen bir ürün olduğu için verimli şekilde su kullanımı gerektirmektedir. Bu nedenle noktasal şekilde hesaplanan evapotranspirasyon değerlerini alansal olarak dağıtmak için SEBAL Yöntemi kullanılmıştır. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm For Land) yöntemi, mikrometeorolojik parametrelerle birlikte uydu görüntülerini de kullanarak evapotranspirasyonun hesaplanmasını sağlar. Bu çalışmada uydu görüntülerinden gelen NDVI, LAI ve yüzey sıcaklığı parametreleriyle; Penman-Monteith yönteminden elde edilen referans evapotranspirasyon verileri kullanılmıştır. Bu veriler doğrultusunda mikrometeorolojik yöntemlerin sentezi sonucunda, vaka analizi olarak domates bitkisinin evapotranspirasyon miktarı hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar esnasında Landsat 8 görüntüleri, GTOPO30 sayısal yükselti veriseti ve ERA5 meteorolojik veriseti kullanılmıştır. SEBAL yöntemi sonucunda elde edilen evapotranspirasyon değerlerinin analizi yapılmış ve yöntemin güçlü ve zayıf olduğu yönleri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Buharlaşma, evapotranspirasyon, SEBAL, Penman-Monteith, Karacabey, domates, mikrometeoroloji

GİRİŞ

Buharlaşma ölçülmesi görece kolay, hesaplanması ise oldukça zor bir meteorolojik değişkendir. Fakat yüzeyden su kaybı oluşturan tek etken buharlaşma değildir. Canlıların terlemesi ile de su kaybı oluşmaktadır. Belirtilen su kaybı transpirasyon olarak ifade edilmektedir. Yüzeyden toplam kaybedilen su içinse buharlaşma ve terlemenin toplamı olan Evapotranspirasyon kavramı kullanılmaktadır.

Terleme miktarının hesaplanması ve gözlenmesi buharlaşma miktarına göre daha zordur. Hareket halindeki hayvan ve insanların terleme miktarının belirlenebilmesi çok fazla değişken gerektirdiği için bu değerler genellikle gözardı edilir. Hareket dışında türler arasındaki fenolojik fark ve tür içerisindeki genel farklılıklar gözönüne alındığı zaman hesaplanabilmesi neredeyse imkânsız hale gelmektedir.

Sıra bitkilere geldiğinde ise daha kararlı bir durum vardır. Bitkilerin arazi üzerinde sabit durması, ekim tarihlerinin ve fenolojik evrelerinin birbirine benzemesi bir avantajdır. Bunun dışında ekilen bitkilerin zamanla ehlileştirilmesi ile birbirine çok benzeyen yapıda canlılar ortaya çıkarmaktadır. Verilen su miktarının sürekli kontrol edilmesi neticesinde bitkiler için evapotranspirasyon, hesaplanabilir bir değişken haline gelmektedir.

Evapotranspirasyonun hesaplanması için çeşitli yöntemler ortaya çıkmıştır. Bu yöntemleri temel olarak üç grupta incelemek mümkündür. Bu yöntemlerden ilki mikrometeorolojik değişkenlere dayalı yöntemlerdir. Genel olarak yüzey enerji dengesini temel alırlar. Mikrometeorolojik gözlemleri temel olarak alıp, bitkilerle ilgili çeşitli katsayıları kullanarak gerçek evapotranspirasyonu hesaplarlar.

Fakat mikrometeorolojik gözlemler bazı durumlar için dezavantajlıdır. Gözlemlerin olmadığı veya eksik olduğu bölgelerde kullanmaya daha elverişli olan yöntemler vardır. Bu yöntemler genellikle gözlenmesi daha kolay olan sıcaklığı temel alıp, gözlemler sonucu elde edilen buharlaşma değerlerine yaklaştırmaya çalışırlar. Meteorolojik temelden daha çok istatistiki temellere dayanırlar. Bu nedenle hata oranları meteorolojik temellere dayanan modellerden daha yüksektir.

Üçüncü ve son grupta ise uydu görüntülerini temel alan yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler de kendilerine zemin olarak yüzey enerji dengesini alırlar. Meteorolojik gözlem de modellemelerden çok daha yüksek çözünürlüğe sahip oldukları için, noktasal olarak elde edilen bir buharlaşma değerini alansal olarak dağıtmakta güçlüdürler. Bu nedenle su bütçesi hesabı için etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkarlar. Uydu görüntüleri tek bir andaki buharlaşma miktarını görebileceği için tek başına bir buharlaşma modeli olarak düşünülmemelidir.

Bu tür uydu tabanlı yöntemlerin yanında, uydunun görüntü göndermediği dönemlerdeki buharlaşma miktarlarını da belirleyebilmek için farklı bir yöntem daha kullanmak faydalı olacaktır. Bu nedenle okuduğunuz bu çalışmada SEBAL yönteminin yanında destekleyici olarak, mikrometeorolojik parametlere dayanan Penman Monteith Metodu kullanılmıştır.

Uydu tabanlı bir Evapotranspirasyon yöntemi olan SEBAL temel alınarak Bursa'nın Karacabey ilçesi için domates yetişme döneminde (15 Mayıs-10 Eylül 2021) buharlaşma miktarları hesaplanmıştır.

YÖNTEM

SEBAL yöntemi yüzey enerji dengesi yaklaşımını kullanır. Bu yaklaşıma göre yüzeye gelen solar radyasyon ile giden solar radyasyon arasında bir denge vardır. Bu nedenle SEBAL yöntemi, temel olarak yüzey enerji bütçesini veren iki farklı denklemi birbirine eşitleyerek buharlaşma miktarını hesaplar.

Bu denklemlerden ilki solar radyasyon hesaplamalarında da kullanılan, kısa ve uzun dalga boylu radyasyonun atmosfer içerisindeki etkileşimleriyle elde edilen net enerji denklemidir. Bahsi geçen denklem aşağıda verilmiştir (Bastianssen et al,1998).

$$R_n = (1-\alpha) \times R_s \downarrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1-\varepsilon) \times R_L \downarrow \quad (1)$$

Yukarıda görülen denklem, yüzey enerji bütçesindeki net radyasyonun solar radyasyon denklemleri ile hesaplanması sonucu elde edilmiştir. Bu amaçla; gelen kısa dalga boylu radyasyon hesaplanır. Bunun için Dünyanın güneşe göre olan konumu ile birlikte yüzey albedo değerleri de dikkate alınır. Ardından atmosferin yüzeye yayınladığı uzun dalga boylu radyasyon, yüzeyin atmosfere yayınladığı uzun dalga boylu radyasyon arasında ilişki kurularak net radyasyon elde edilir.

Ardından elde edilen R_n değeri aşağıdaki denklemde yerine yazılır(Bastianssen et al,1998).

$$R_n = G + H + \lambda ET \qquad (2)$$

İki denklemdeki R_n ifadesi, aynı fiziksel durumun farklı denklemlerle ifade edilmesidir. Bu nedenle ilk denklemde elde edilen ifade ikinci denklemde yerine yazılabilir. (1) numaralı denklem, net radyasyonu solar radyasyon denklemleri ile ifade ederken; (2) numaralı denklem mikrometeorolojik parametreler olan ısı akılarıyla ifade eder. G ile ifade edilen değişken Toprak Isı Akısı, H ile ifade edilen değişken Hissedilebilir Isı Akısı ve ET ile ifade edilen değişken de Gizli Isı Akısı olarak kullanılır.

Toprak Isı Akısı ve Hissedilebilir Isı Akısı hesaplandıktan sonra, net radyatif enerjiden kalan miktar Gizli Isı Akısı olarak belirlenir. Gizli Isı Akısı miktarı ise buharlaşmaya harcanan enerji miktarını gösterir.

Enerji dengesi yaklaşımı kullanılarak yapılan bütün buharlaşma hesaplamaları bu temel ilkeye bağlı kalmaktadır. SEBAL yöntemi de yaklaşım olarak enerji dengesine bağlı olduğu için bu hesaplamalar üzerinden devam etmektedir. Uydu görüntülerinden yüzey sıcaklığı, albedo, NDVI ve LAI gibi değişkenleri kullandığı için uzaktan algılama yöntemleriyle buharlaşma miktarını hesaplayabilmektedir.

$$G/R_n = Ts/\alpha\,(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \qquad (3)$$

Yukarıda verilen denklemde Toprak Isı Akısı ile Net Radyatif Enerji'nin birbirine oranı verilmektedir (Bastianssen et al,1998). Bu oranı elde edebilmek için Termal Infrared Bantlardan elde edilen yüzey sıcaklığı ve Near Infrared Bantlardan elde edilen NDVI değişkeni kullanılmaktadır.

Toprak Isı Akısının elde edilmesinin ardından Hissedilebilir Isı Akısının hesaplanması gerekmektedir. Hissedilebilir ısı akısı hesaplanırken alçak seviyede atmosferin kararsızlığı, bitki yüksekliği ve gelişmişliği, pürüzlülük gibi değişiklikler etkilidir. Bu nedenle hissedilebilir ısı akısı hesaplanırken birden çok değişken kullanılır (Bastianssen et al,1998).

$$H = \rho \times C_P \times dT/r_{ah} \qquad (4)$$

Yukarıdaki denklemle beraber hissedilebilir ısı akısı hesaplanır. Denklemin sağ tarafındaki ilk terim havanın yoğunluğunu, ikinci terim havanın ısı kapasitesini, üçüncü terim sıcaklık farkını ve r_{ah} ile gösterilen terim de aerodinamik direnci ifade eder.

Denklem (4) içerisinde verilen dT değişkeni bu çalışma içerisinde hataya en açık olan değişkendir. Bu dT değeri istatistiksel yollardan elde edilebildiği gibi bazı kaynaklarda toprak ile hava sıcaklığı arasındaki ifade etmektedir. Bu noktada da oldukça fazla soru ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada dT değeri olarak, çıplak arazi ile bitki örtüsünün bulunduğu arazi üzerindeki sıcaklık farkı alınmıştır.

Denklem (2)'de hesaplanması gereken toprak ısı akısı ve hissedilebilir ısı akısı bu adımla beraber hesaplanmış olur. Net radyatif enerjiden bu iki değerin çıkarılmasıyla beraber, buharlaşma için geriye kalan enerji miktarı ortaya çıkarılır.

$$\lambda = 2.501 - (T_a - 273) \times 0.002361 \quad (5)$$

$$ET_{inst} = 3600\, x \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (6)$$

Denklem (5)'te verilen buharlaşma gizli ısısı, Denklem (6)'da yerine yazılarak, uydu görüntüsünün çekildiği andaki buharlaşma miktarına göre saatlik buharlaşma miktarını hesaplar (Ayad et al, 2018). Bu noktada dikkat edilmesi gereken, görüntü anındaki buharlaşmanın saatin tamamını temsil ettiği düşüncesidir. Bu görüntünün ardından, diğer protokol yöntemlerde hesaplanmış olan en yakın saatin görüntüsüne bölünür. Böylece bitkinin referans buharlaşma miktarına göre hangi oranda buharlaşma ve terleme yaptığı öğrenilir. Elde edilen bu değer, bir dahaki görüntüye kadar olan süreç için toplam referans evapotranspirasyon değerleriyle çarpılır. Böylece belli bir periyot boyunca elde edilen bitki su tüketimi hesaplanmış olur.

Bu çalışmada protokol yöntem olarak kullanmak üzere Penman-Monteith Yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemin ilgili denklemi aşağıda Denklem (7) ile verilmiştir.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{c_n}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (7)$$

Penman-Monteith Yöntemi ile ile elde edilen referans evapotranspirasyon değerlerinin, gerçek evapotranspirasyon değerlerine yaklaşabilmesi için bir katsayı kullanılması gerekmektedir. Bitkinin fenolojik evresini gösteren K_c katsayısı, domates bitkisi için FAO'nun ilgili tablolarından alınmıştır.K_c katsayısı, bitki türünün çim bitkisine göre yaptığı evapotranspirasyon oranını gösterir.

K_c değeri 1'den düşük olduğu zaman bitki çimenden daha az buharlaşma yaparken, 1 değerinin üzerine çıktığında buharlaşma miktarı çimenden daha fazla olmaktadır. Bu katsayı bitkinin içinde bulunduğu fenolojik evreye bağlı olarak değiştiği için, protokol yöntemlerin tamamında bitkinin ekiminden geçen sürenin bilinmesi gerekmektedir. SEBAL yönteminin protokol yöntemlere karşı avantajlarından birisi de bu noktadadır. Ekili bitkinin türünü bilmeden ve ekim tarihini bilmeden de gerçek buharlaşma değerlerini elde etmeye imkan sağlar.

Uzaktan algılama aracılığıyla evapotranspirasyon hesaplama yöntemleri ile protokol yöntemler arasındaki temel farklar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1. SEBAL Yöntemi ile Protokol Yöntemler Arasındaki Farklar

Özellik	Penman-Monteith	SEBAL
Yaklaşım	Yüzey Enerji Dengesi	Yüzey Enerji Dengesi
Mikrometeorolojik Değişkenler	Var	Var
Bitki Evresi	Kullanılıyor	Kullanılıyor
Bitki Türü	Gerekli	Gerekli Değil
Ekim Tarihi	Gerekli	Gerekli Değil
Yüzey Sıcaklığı	Meteorolojik Gözlem/Tahmin	Uydu Görüntüsü
Bitki Evresi	Genelgeçer	Gerçek Durum
Hesaplama Sıklığı	Her gün/saat	15 Günde Bir

ÇALIŞMA ALANI ve VERİ SETLERİ

Bu çalışmada Bursa'nın Karacabey İlçesindeki domates ekili alanların evapotranspirasyon miktarları SEBAL Yöntemi ile hesaplanmıştır. Karacabey 1285 km^2'lik yüzölçümüne rağmen ülkemizdeki salçalık domates sektörü için oldukça önemli bir ilçedir. İlçede 17 adet salça fabrikası bulunuyor ve 1 milyon tondan fazla salçalık domates üretiliyor(Web-1).

Dünya'da ise yıllık olarak salçalık domates üretimi 179 milyon tona yakındır. Türkiye bu konuda Çin ve Hindistan'ın ardından üçüncü sırada yer alıyor(Web-1). Türkiye'deki salçalık domates üretiminin %45'ini karşılayan Karacabey ilçesi, bu nedenle Dünya Salçalık Domates sanayisi için oldukça önemli bir konumda bulunuyor(Web-2).

Tablo 2. Karacabey'in Türkiye ve Dünya'da Domates Üretiminde Yeri

Özellik	Nitelik
Konum	Güney Marmara/Bursa
Rakım	26 metre
Yüzölçümü	1285 km^2
Salçalık Domates Üretimi	1.8 Milyon Ton
Ülkedeki Salçalık Domates Oranı	%45 (Web-2)
Dünyada Salçalık Domates Üretimi	190 Milyon Ton (Web-1)
Domates Su Tüketimi	~150 litre/kg (Web-3)

Domates bitki su tüketiminin bulunabilmesi için gereken verisetleri ise DEM, Uydu Görüntüsü ve Meteorolojik parametre olarak sıralanabilir. DEM (Digital Elevation Map ya da Sayısal Yükselti Haritası), uydu görüntüleri için bir altlık olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca gereken solar radyasyon hesaplamalarında yüzeyin eğimi ve açısı da önemli rol oynadığı için oldukça önemlidir. Bu çalışmada DEM veriseti olarak GTOPO30 verisi kullanılmıştır. Uydu görüntüleri ise uzaktan algılama tabanlı olduğu için ilgili alanların anlık görüntüsünü verebilmektedir. Meteorolojik veritabanı ise hem referans evapotranspirasyonun hesaplanmasında hem de görüntünün olmadığı diğer saatlerde kabul edilebilir sonuçlar alınmasında etkili rol oynamaktadır.

Uydu görüntüleri için ise kullanılan veriseti Landsat-8 uydusundan gelen görüntülerdir(USGS,2021). Hem NIR hem de TIR görüntüleri kullanılmıştır. Albedo değerlerinin hesaplanması için atmosferik düzeltme yapılmış olup, domatesin yetiştiği süreç olan 15 Mayıs-10 Eylül 2021 tarihleri arasında uygun 7 görüntü kullanılmıştır.

Meteorolojik veritabanı olarak ise ECMWF'in ERA5 veriseti kullanılmıştır(ECMWF,2021). Hem Penman-Monteith Yönteminin içerisinde hem de SEBAL Yönteminin içerisinde kullanıldığı için bu çalışmada oldukça önemli bir yere sahiptir.

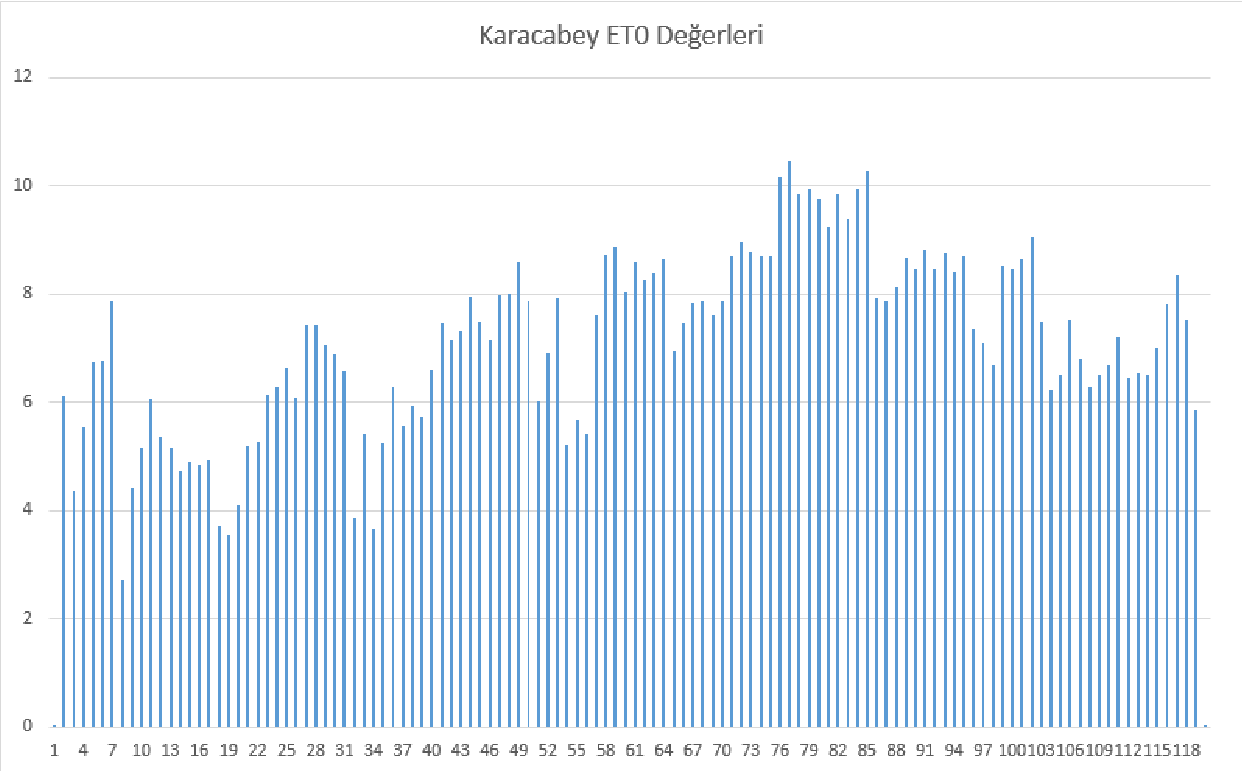
Tablo 3. Kullanılan Veri setleri

Özellik	Veri seti	Çözünürlük
DEM	GTOPO30	30 Arktik Saniye
Uydu Görüntüsü	Landsat-8 OLI/TIRS	30 Metre
Meteorolojik Veriseti	ERA5 Land	9 Kilometre

Bu verisetleri dışında bu çalışmanın yapılması esnasında Microsoft Excel, R, Python, QGIS ve Grass GIS gibi yazılımlar kullanılmıştır.

SONUÇLAR

15 Mayıs-10 Eylül 2021 tarihleri için elde edilen referans evapotranspirasyon değerleri aşağıda verilmiştir.



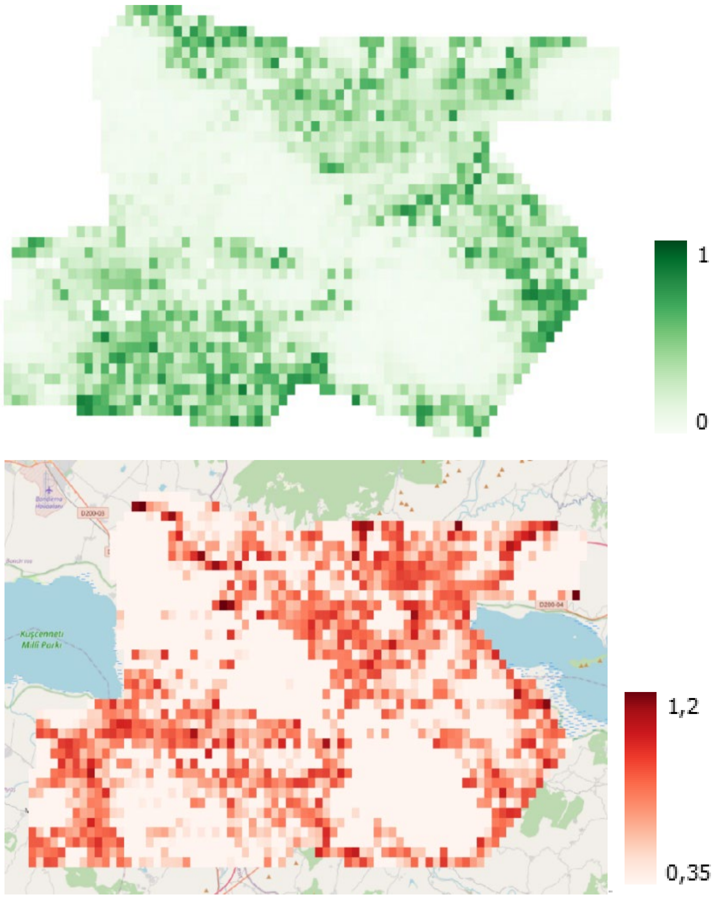
Şekil 1. Penman-Monteith Yöntemi ile Elde Edilen ET_0 Değerleri

Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere hesaplanan çim bitkisinin günlük buharlaşma değerleri 6 ile 10 mm arasında değişmektedir. Mayıs ve Haziran aylarındaki buharlaşma miktarı Temmuz ve Ağustosa göre daha düşük kalmaktadır.

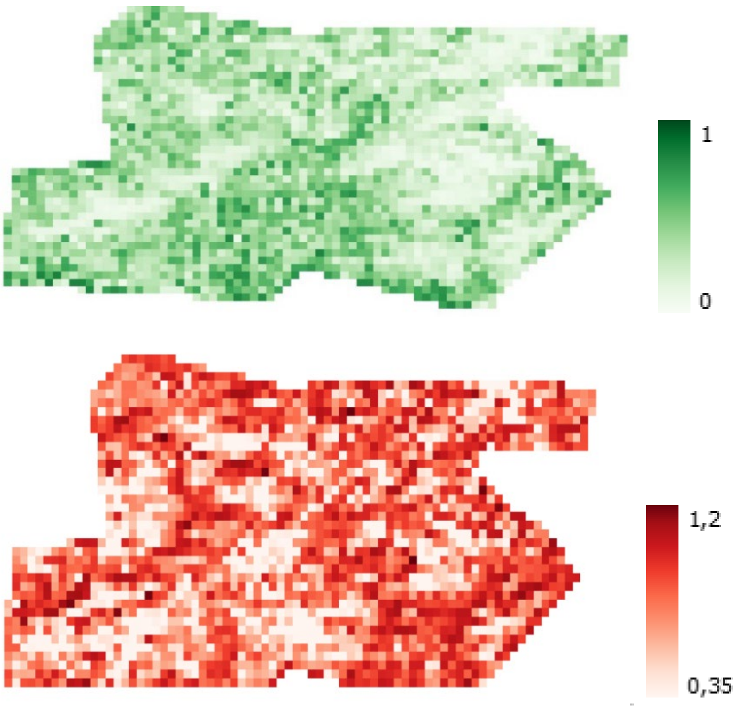
Uydu görüntülerini işledikten sonra ise iki farklı haritaya bakmak faydalı olacaktır. Bulut kapalılığı özellikle bazı günlerde oldukça etkili olduğu için bazı bölgelerde oldukça yüksek hatalı sonuçlar vermektedir. Fakat sadece elde edilen K_c haritalarından bunu anlamak mümkün olmayacağı için, bunların yanında NIR kanallarından elde edilen NDVI görüntülerini beraber görmek fikir yürütmeye imkan sağlayacaktır.

Hatalı olan ET_c değerleri yerine standardı olan K_c değerlerini görmek çok daha sağlıklı olacaktır. Çünkü evapotranspirasyonun standart bir değeri yoktur. Bunun yerine hangi zamanlarda hatalı sonuçlar verdiğini göstermesi açısından K_c değerlerinin NDVI ile beraber izlenmesi daha faydalı olacaktır.

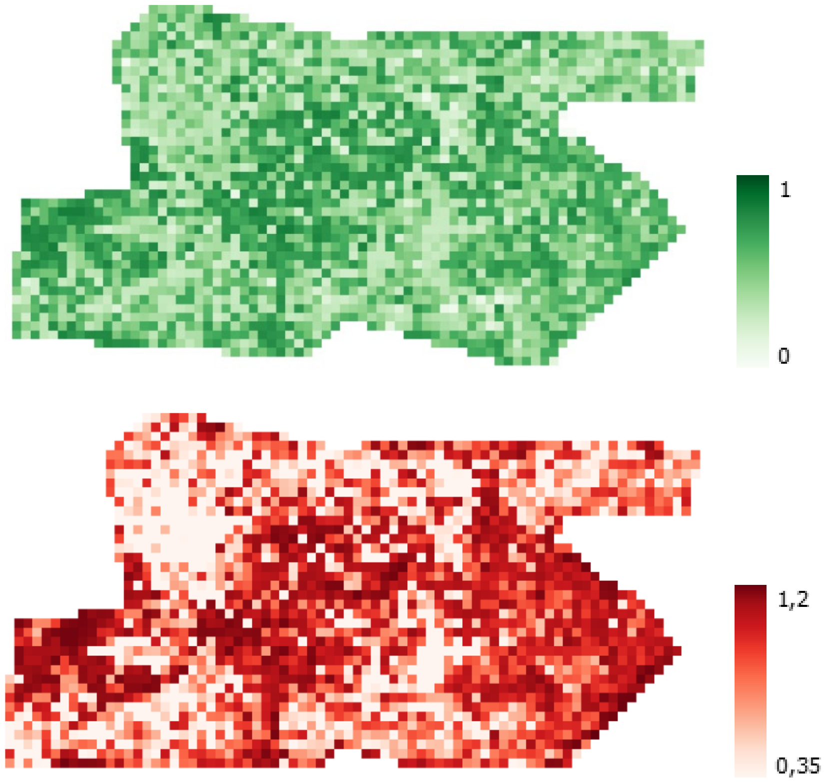
Aşağıdaki görüntülerde üstte verilen görüntüler bitki örtüsünü görmemize imkan sağlayan NDVI değişkeninin grafikleridir. Alt tarafta ise o günün görüntüsü için elde edilmiş olan K_c grafikleri bulunmaktadır.



Şekil 2:2 Haziran 2021'e ait NDVI ve K_c Değerleri



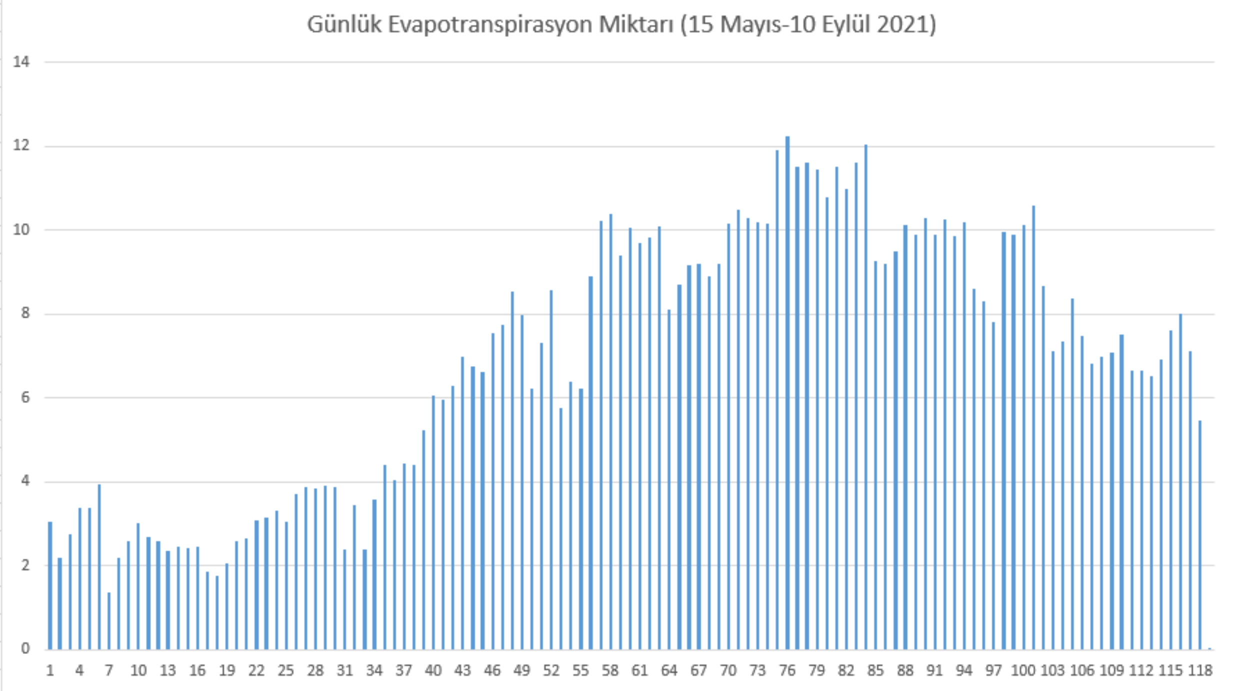
Şekil 3:18 Haziran 2021'e ait NDVI ve K_c Değerleri



Şekil 4:20 Temmuz 2021'e ait NDVI ve K_c Değerleri

Örnek olması için yukarıya bırakılan Şekil 2,3 ve 4 içerisinde NDVI değerinin yükselişi gözle görülür şekilde belli olmaktadır. Fakat K_c değerine baktığımız zaman NDVI değerinin düşük olduğu günlerde bile yüksek görünebilmektedir. Bunun nedeni beşinci bölümde detaylı şekilde tartışılacaktır.

Periyot boyunca olan buharlaşmayı elde etmek için bir değer maskelemesi yapılmıştır. K_c değeri ve ET_c değeri olarak makul değerler dışında yer alan piksellerin hesaba katılmamasıyla beraber elde edilen günlük ET_c değerleri aşağıda verilmiştir. K_c değeri için FAO websitesinde 1.20 değerini görürken, bu çalışmada sınır değer olarak 1.35 değeri seçilmiştir. ET_c değeri olarak da 15 mm üzerinde yer alan değerler hesaba katılmamıştır.



Şekil 5: Karacabey Domates Periyodu İçin Elde Edilen ET_c Miktarları

Şekilde görüldüğü üzere haziran ayında elde edilen yüksek değerler, Şekil 1'de verilen ET_0 değerlerinden daha yüksek çıkmasına neden olmuştur. Günlük değerler 8-14 mm arasına çıkmıştır. Görüntülerin temiz olduğu günlerde SEBAL yöntemi oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

TARTIŞMALAR

Bu çalışmanın sonucunda belli sonuçlar ve belli soru işaretleri ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan sonuçlardan ilki, noktasal olarak tahmin edilen buharlaşma miktarının, SEBAL Yöntemi sayesinde alansal olarak dağılımını görebilmektir. Meteorolojik verisetlerinin çözünürlüğünün, uzaktan algılama sistemlerine göre çok daha düşük olduğu göz önüne alındığında bu büyük önem kazanmaktadır.

Fazla su isteyen bir bitki olan domatesin, uygun sulama planlaması için böyle bir uzaktan algılama sistemine sahip olması oldukça önemlidir. Kağıt üzerinde elde edilmiş ve bütün dünya için kabul edilen genelgeçer katsayılar yerine, durum özelinde elde edilen bitki su tüketimi hesaplanması su ayakizini de azaltacaktır. Böylece iklim değişikliğinin yüksek sesle konuşulduğu bugünlerde daha verimli bir tarım politikası sürdürülebilir. Bunun dışında su tüketimi azalacağı için sulama için harcanan elektrik ve suyun azalması ekonomik olarak da oldukça büyük bir tasarruf sağlayacaktır.

Bu nedenle uzaktan algılama yoluyla bitki su tüketiminin hesaplanması belli konularda faydalıdır. Fakat belli konularda da hala soru işaretleri barındırmaktadır. Dördüncü kısımda elde edilen bir sonuç olan, bulutlu günlerdeki performans düşüklüğü uzaktan algılama sistemlerinin genel problemlerinden biridir.

Bu performans düşüklüğünün esas sebebi, ikinci bölümde yer alan Denklem (4)'teki dT yaklaşımından kaynaklıdır. Bu çalışma dışında yapılan benzer çalışmalara da bakıldığı zaman bu konu hala ciddi şekilde tartışmalı olarak devam etmektedir. Toprağın kendi içerisindeki sıcaklık farkı, alçak seviye ile yüzey arasındaki sıcaklık farkı, bitki örtüsü olan yüzey ile çıplak yüzey arasındaki sıcaklık farkı gibi çeşitli kabuller vardır.

Burada kabul edilen yöntem bitki örtüsü ile çıplak yüzey arasındaki farktır. Bu farkın kabul edilmesinin nedeni, sıcak nedeniyle bitkinin terlemesi ve terleyen suyun buharlaşması nedeniyle bitki yüzeyinin daha serin kalmasıdır. Buharlaşma olmadığı kabulü yapıldığı zaman, buharlaşmaya ayrılan enerjinin bitkiyi ısıtmak için kullanıldığı varsayılırsa bu kabulün nedeni anlaşılır. Yine de bitki ile çıplak toprağın ısı kapasiteleri aynı olmayacağı için radyatif enerjinin farklı boyutlarda ısıtacağı, bu nedenle bu yöntemin de kesinlikle doğru sonuç vermeyeceği düşünülebilir.

SEBAL algoritması bu nedenle soğuk yüzeyi bitki, sıcak yüzeyi de çıplak arazi kabul etmektedir. Bu nedenle bulutlu günlerde, bulutun tepe sıcaklığı, yüzeydeki sıcaklıktan çok daha düşük olduğu için dT değeri yüksek çıkmaktadır. Bunun bir diğer sonucu olarak da bulutun bulunduğu bölge soğuk olduğu için bitki gibi kabul görmektedir. Böylece hem dT değerinin yüksek çıkması hem de bulutların bitki gibi işlem görmesi nedeniyle hatalı sonuçlara açık hale gelmektedir. İleriki çalışmalarda bulut maskesi kullanılarak bu hatanın önüne geçilebilir.

Göz önünde bulunmayan bir diğer hata sebebi de DEM verisinin düşük çözünürlükte olmasıdır. SEBAL algoritmasındaki işlemlerin çoğu aslında birer raster işlem olduğu için, en küçük çözünürlüğe göre hesaplamaktadır. Çözünürlük düştükçe piksel başına düşen alan artacağı için, tarla dışında yol veya bina gibi aslında tarla olmayan alanlar da daha fazla girecektir. Böylece elde edilen ortalama değerler değişecek, aslında olan değerlerden farklı noktalara gelecektir. Bu nedenle yüksek çözünürlüklü DEM kullanmak, uydu görüntülerinin daha kaliteli işlemesine olanak sağlayacak ve belki de bulutlu günlerde elde edilen uçuk değerlerin de önüne geçecektir.

Bu kısmı öneriler kısmı gibi de düşünecek olursak bir öneride daha bulunmak faydalı olacaktır. Landsat verisinin çok geniş alanlarda gelmesiyle beraber, daha az meteorolojik veri kullanarak daha çabuk işlem yapılabileceği düşünülebilir. Bundan önceki çalışmalarda farketmeden yapılan hatalardan birisi de budur. Daha önce bu şekilde bir öneride bulunulmadığı için dikkatlice söylemek gerekir ki, SEBAL yöntemi hesaplamaları içerisinde rüzgar hızını da barındırmaktadır. Yine Denklem (4)'te yer alan aerodinamik direnç değişkeni rüzgar hızıyla birebir ilgilidir. Bu nedenle SEBAL algoritmasının içine verilen rüzgar hızının, raster işlem olarak alınıp tek bir hız verilmesi uygun değildir.

Raster işlemler tek seferde çok geniş bir alanı çıkarabildiği için oldukça kullanışlı görünmesine rağmen, alınan tek bir rüzgar hızı bu yöntemin doğruluk oranını düşürecektir. Bunun yerine çalışma alanları küçük bölgelere ayrılabilir ve o bölgelere ait temsil eden bir rüzgar hızı verilebilir. Burada meteoroloji bilgisinin önemi devreye girmektedir. Bundan önceki çalışmalarda meteoroloji sadece bir veriseti olarak kullanıldığı için teorik olarak bu hata yapılmıştır. Bu nedenle meteorolojik değişkenleri, temsil edebileceği bölgelere ayırıp işlem yapmak faydalı olacaktır.

Sonuç olarak SEBAL yöntemi bitki türü ve ekim tarihi bilinmeden bitki su tüketiminin belirlenmesi konusunda güçlü bir araçtır. Fakat üzerinde çalışılması gereken ve dikkatli olunması gereken belli noktaları vardır. Uzaktan algılamanın nimetleri sayesinde tek bir nokta yerine alansal olarak ET_c değerlerinin hesaplanabilmesi gittikçe önem kazanacaktır. Bu nedenle verimlilik konusunda da SEBAL yöntemini geliştirmek gelecek için faydalıdır.

Nihayetinde hiçbir model hatasız sonuç vermemektedir. Bu çalışma da bu hatalara istisna değildir. Önemli olan kabul edilebilir oranlarda hatalarla gerçek hakkında fikir sahibi olunmasıdır. Bu nedenle hataları olsa da bu tip çalışmalar, gelecekteki çalışmaların doğruluğu açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

Ayad Ali Faris Beg, Ahmed H. Al-Sulttani, Adrian Ochtyra, Anna Jarocińska, & Adriana Marcinkowska. (2016). Estimation of Evapotranspiration Using SEBAL Algorithm and Landsat-8 Data—A Case Study: Tatra Mountains Region. *Journal Of Geological Resource And Engineering*, *4*(6). doi: 10.17265/2328-2193/2016.06.002

Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R., & Holtslag, A. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal Of Hydrology*, *212-213*, 198-212. doi: 10.1016/s0022-1694(98)00253-4

ERA5-Land: data documentation - Copernicus Knowledge Base - ECMWF (2021). Retrieved 14 January 2022, from https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview

USGS EROS Archive - Digital Elevation - Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30) | U.S. Geological Survey. (2022). Retrieved 14 January 2022, from https://doi.org/10.5066/F7DF6PQS

USGS EROS Archive - Landsat Archives - Landsat 8 OLI (Operational Land Imager) and TIRS (Thermal Infrared Sensor) Level-1 Data Products | U.S. Geological Survey. (2022). Retrieved 14 January 2022, from https://doi.org/10.5066/F71835S6

İnternet Kaynakları:

Web-1: https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyenin-salcalik-domates-uretim-merkezlerinden-bursada-verim-yuz-gulduruyor/2355951 , accessed 14 January 2022.

Web-2: https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/karacabey-ovasinda-domates-hasadi-basladi-40913494 , accessed 14 January 2022.

Web-3: https://edepot.wur.nl/156932#:~:text=Between%204%20and%20300%20litres,1%20kg%20of%20fresh%20tomatoes. , accessed 14 January 2022.

Statistical Assessment and Hydrological Utility of Multiple Gridded Precipitation Datasets in Upper Aras Basin

Hamed HAFIZI[1,2], Ali Arda ŞORMAN[1]
[1]Eskisehir Technical University, Faculty of Graduate School of Sciences, Department of Civil Engineering
[2]Kabul Polytechnic University, Faculty of Water Resources and Environmental Engineering, Department of Hydraulics and Hydraulic Structures
hamedhafizi@eskisehir.edu.tr; hamedhafizi@kpu.edu.af; asorman@eskisehir.edu.tr

ABSTRACT

Precipitation is an essential meteorological forcing for hydrologic modeling, and its accurate estimation requires installation and maintenance of dense gauge networks, which is limited for many regions. Conversely, Gridded Precipitation Datasets (GPDs) can be an alternative to carry out research over complex topography and snow dominant regions. Therefore, this study aims to evaluate the spatio-temporal consistency and hydrologic utility of four GPDs (ERA5, CHIRPv2.0, IMERGHHFv0.6, and PERSIANN) over a mountainous basin (Upper Aras basin) in the eastern part of Turkey. The Kling–Gupta Efficiency (KGE) is used to compare GPDs with observed precipitation directly, and the Hanssen–Kuiper (HK) skill score is utilized to assess the detectability strength of selected GPDs for different precipitation intensities. Moreover, the hydrologic utility of GPDs is tested by exploiting a conceptual rainfall-runoff model under Kling–Gupta Efficiency (KGE) and Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) metrics. Generally, all GPDs show low performance compared with observed precipitation directly while their performance considerably increases for streamflow simulation. ERA5 show high reproducibility in streamflow (KGE = 0.86), followed by IMERGHHFv06 (KGE = 0.85), PERSIANN (KGE = 0.77), and CHIRPv2.0 (KGE = 0.70), for the entire period (2015–2019) of the study.

Keywords: Gridded Precipitation Datasets, Validation, Hydrologic Modeling, Mountainous Basin.

INTRODUCTION

Precipitation is one of the essential components of the hydrological cycle. Meanwhile, precipitation magnitude varies over short horizontal distances because of the orographic effects and altitude-precipitation relation (Bookhagen and Burbank, 2006; Herold et al., 2017). Traditionally, the amount of precipitation is estimated by gauge installation over the ground and provides a direct physical precipitation observation (Sevruk, 1987; Shi et al., 2017). However, the scarcity or non-existent gauge observation over complex topography and highly elevated regions has always been a great challenge for accurate precipitation estimation in recent decades (Hafizi and Sorman, 2021; Nazeer et al., 2022). On the other hand, Gridded Precipitation Datasets (GPDs) in combination with rainfall-runoff modeling can be an alternative to provide essential data for hydro-meteorological studies over gauge scarce regions (Nazeer et al., 2022).

In recent decades, various Gridded Precipitation Datasets (GDPs) varying in spatial and temporal resolution have been developed and they can generally be classified into the following groups; (1) GPDs which use only satellite information such as Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) (Sorooshian et al., 2000), (2) GPDs obtained from numerical weather prediction models output such as European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) reanalysis fifth-generation (ERA5) (Hersbach and Dee, 2016), (3) those that only use in-situ data information such as Climate Prediction Center unified (CPC) (Xie et al., 2007), and (4) GPDs that use multi-sources information such as Climate Hazards group InfraRed Precipitation version 2.0 (CHIRP V2.0) (Funk et al., 2015) and Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) final run V06 (Huffman et al., 2020).

Furthermore, several authors reported the performance of GPDs either by direct comparison with in-situ precipitation data (Amjad et al., 2020; Beck et al., 2019; Lu et al., 2021; Qi et al., 2021; Satgé et al., 2020; Uysal et al., 2021) or using GPDs as a meteorological forcing in the hydrologic models and comparing the simulated streamflow with observed streamflow (Dembélé et al., 2020; Hafizi and Sorman, 2021; Su et al., 2021; Uysal and Şorman, 2021).

This study aims to evaluate four GPDs such as ERA5, CHIRPv2.0, IMERGHHFv0.6, and PERSIANN by direct comparison with observed precipitation, considering the seasonal variability of precipitation in daily time step and hydrologic utility under two different scenarios for five water years from October 2014 to September 2019.

The paper is summarized as follows: Section 1 presents a comprehensive introduction to GPDs. Section 2 gives information on materials and methods. Section 3 presents the results and detailed discussions, and finally, conclusions are conveyed in Section 4.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The current analysis is carried out over the upper Aras River basin (39:50:16N-41:50:19E), situated at the headwater of Aras River in the northeast of Turkey (Figure 1). The drainage area is around 2730 km^2, and its outlet is controlled by the D24A096 stream gauging station. Moreover, the basin is mountainous where its elevation varies from 1646m to 3156m, and precipitation occurs in the form of

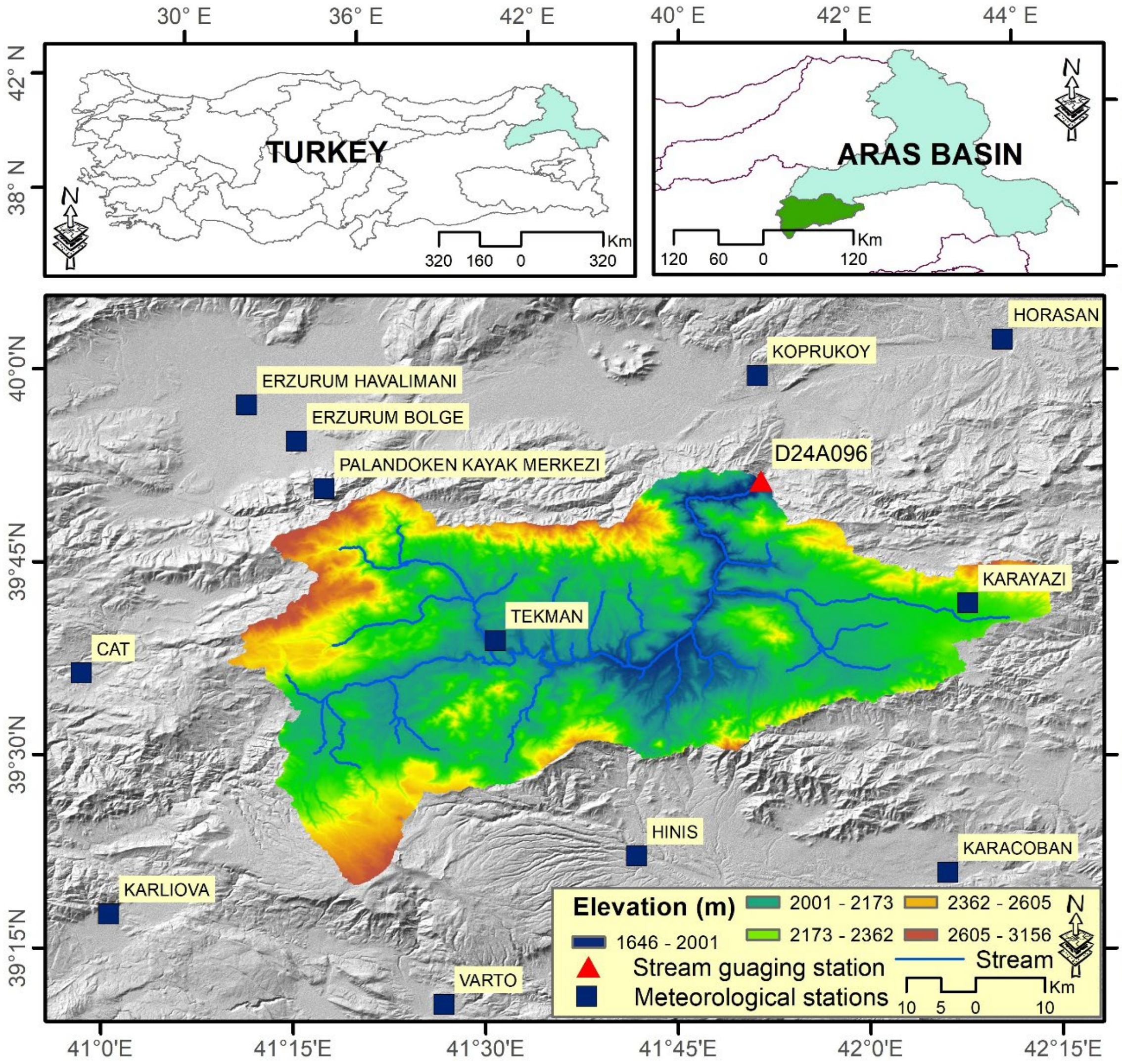


Figure 1. Geographic location and elevation map of Upper Aras River basin and hydro-meteorological station distribution over the study area.

rain and snow. In the same way, the basin surface is covered by agricultural area (15%), bare land (30.8%), and grassland/pasture (50.4%) (Sorman et al., 2020). The topographic complexity, high altitude, and snow dominant characteristics of the basin are advantageous in validating GPDs and operating hydrologic models for areas under such difficult conditions.

Data

The daily precipitation and temperature data from 12 meteorological stations are provided by the General Directorate of Meteorology (GDM). The daily observed streamflow for the D24A096 stream gauging station at the basin outlet is obtained from the General Directorate of Hydraulic Works (GDHW). The data were made available from 2015 to 2019 hydrologic years. Moreover, four Gridded Precipitation Datasets (GPDs) such as European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) reanalysis fifth-generation (ERA5), Climate Hazards group InfraRed Precipitation version 2.0 (CHIRP V2.0), Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) final run V06, and Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN) are gathered from various sources which are summarized in Table 1.

Table 1. List of selected GPDs in the study, Abbreviations in the data source column; G, gauge; S, satellite; R; Reanalysis.

Name	Data source(s)	Spatial resolution	Spatial coverage	Temporal resolution	Reference
ERA5	R	0.25°	50° N/S	Hourly	(Hersbach and Dee, 2016)
CHIRP V2.0	R, S	0.05°	50° N/S	Daily	(Funk et al., 2015)
IMERGHHFv06	S, G	0.10°	60° N/S	30 min	(Huffman et al., 2020)
PERSIANN	S	0.25°	60° N/S	Hourly	(Hsu et al., 1999)

Statistical metrics

Three statistical indicators (Table 2) are applied to evaluate the consistency of selected GPDs over time and space and their performance for streamflow prediction. The Kling–Gupta Efficiency (KGE) (Gupta et al., 2009; Kling et al., 2012) and its Pearson Correlation coefficient (r), Bias (β), and Variability ratio

Table 2. Statistical metrics used in study (optimal value is unity for each of them)

Performance metrics	Equations	Description
Kling Gupta Efficiency and its components	$KGE=1-[(r-1)^2+(\beta-1)^2+(\gamma-1)^2]^{0.5}$ $r=\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(o_n-\mu_0)(s_n-\mu_s)/(\delta_o\times\delta_s)$, $\beta=\frac{\mu_s}{\mu_o}$, $\gamma=(\delta_s\times\mu_o)/(\mu_s\times\delta_o)$	*R* (*Pearson correlation coefficient*), *β (Bias)* is the ratio of estimated and observed mean, *γ (Variability Ratio)* is the ratio of estimated and observed coefficients of variation, *μ* and *δ* are the distribution mean and standard deviation where *s* and *o* indicate estimated and observed. *M (Miss)*; when the observed precipitation is not detected. *F (False)*; when the precipitation is detected but not observed, *H (Hit)*; when the observed precipitation is correctly detected, *CN (Correct Negative)*; a no precipitation event is detected. *n* is the sample size of the
Hanssen-Kuiper	$HK=\frac{(H\times CN)-(F\times M)}{(H+M)\ (F+CN)}$	

Nash–Sutcliffe Efficiency	$\mathrm{NSE}=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i^{sim}-Q_i^{ob}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(Q_i^{ob}-\overline{Q_i^{ob}}\right)^2}$	observed or calculated streamflow. Q_i^{ob} and Q_i^{sim} present the observed and simulated streamflow, $\overline{Q_i^{ob}}$ present the mean observed streamflow.

(γ) is used for the direct comparison of GPDs with observed precipitation. Furthermore, the Hanssen-Kuiper (HK) skill score is used to measure the detectability strength of GPDs by considering five precipitation intensity thresholds such as no-precipitation (less than 1 mm/day), light precipitation (1-5 mm/day), moderate precipitation (5-20 mm/day), heavy precipitation (20-40 mm/day) and violent precipitation (more than 40 mm/day) (Zambrano-Bigiarini et al., 2017). Moreover, for the hydrologic utility of GPDs, Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) and KGE metrics are utilized. For the streamflow reproducibility, two scenarios are considered; when the model parameters are calibrated by observed precipitation and then the observed precipitation is replaced by each GPD (Scheme-1), where for Scheme-2, the model parameters are calibrated by each GPD separately. The conceptual TUW model is used for the precipitation-runoff modeling, and its structure is similar to the HBV model. The TUW model has 15 parameters and is able to simulate runoff, snow, and soil moisture by using daily precipitation, temperature, and evaporation data (Parajka et al., 2007). The model parameters are calibrated by hydroPSO R package which includes particle swarm global optimization algorithm (Zambrano-Bigiarini, 2020).The model parameters are summarized in Table 3.

Table 3. Model parameter range and optimum values for observed precipitation and GPDs. Number of the column indicates: 0, parameter range; 1, Obs; 2, ERA5; 3, CHIRPv2.0; 4, IMERGHHFv06; and 5, PERSIANN.

Parameter and Units	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Snow correction factor—SCF (-)	0.9–1.5	1.5	1.12	1.03	1.1	1.4
Degree-day factor—DDF (mm/°C/day)	0.0–5.0	3.6	0.3	0.51	2.2	1.8
Temperature threshold above which precipitation is rain—Tr (°C)	1.0–3.0	2.3	1.74	1.43	1.8	3.0
Temperature threshold below which precipitation is snow—Ts (°C)	-3.0–1.0	1.0	-0.01	-0.1	-0.9	0.9
Temperature threshold above which melt starts—Tm (°C)	-2.0–2.0	1.7	-1.86	0.87	1.0	1.5
Parameter related to the limit for potential evaporation—Lpart (-)	0.0–1.0	1.0	0.6	0.36	0.5	0.9
Field capacity—FC (mm)	0.0–600	43.4	317.8	45.3	71.1	94.7
Nonlinear parameter for runoff production—Beta (-)	0.0–20	6.0	1.82	5.52	3.1	0.1
Constant percolation rate—K_0 (mm/day)	0.0–2.0	0.8	1.09	0.73	1.0	1.1
Storage coefficient for very fast response—K_1 (day)	2.0–30	20.6	23.1	20.0	15.7	15.1
Storage coefficient for fast response—K_2 (day)	30–250	40.1	38.3	50.9	40.2	35.5
Storage coefficient for slow response—lsuz (day)	1.0–100	52.2	87.9	57.5	58.7	66.1
Threshold storage state—cperc (mm)	0.0–8.0	5.2	5.0	6.9	7.7	0.3
Maximum base at low flows—bmax (day)	0.0–30	3.1	13.6	7.7	9.0	19.6
Free scaling parameter—croute (day^2/mm)	0.0–50	35.2	27.3	24.3	11.1	39.5

RESULT AND DISCUSSION

Mean daily precipitation

Figure 2 presents mean daily precipitation and its bias for the entire period (2015-2019) and four seasons retrieved from observed precipitation and all GPDs at the regional scale. Based on observed precipitation, the region experiences 1.36mm/day precipitation for the entire period, where this amount increases to 2.1mm/day for the spring (MAM) season. Furthermore, the region receives less precipitation (0.75mm/day) during the summer (JJA), which is pretty natural, and precipitation reaches 1.3mm/day for the autumn (SON) season. Finally, spring precipitation is followed by winter (DJF) season precipitation (1.36mm/day).

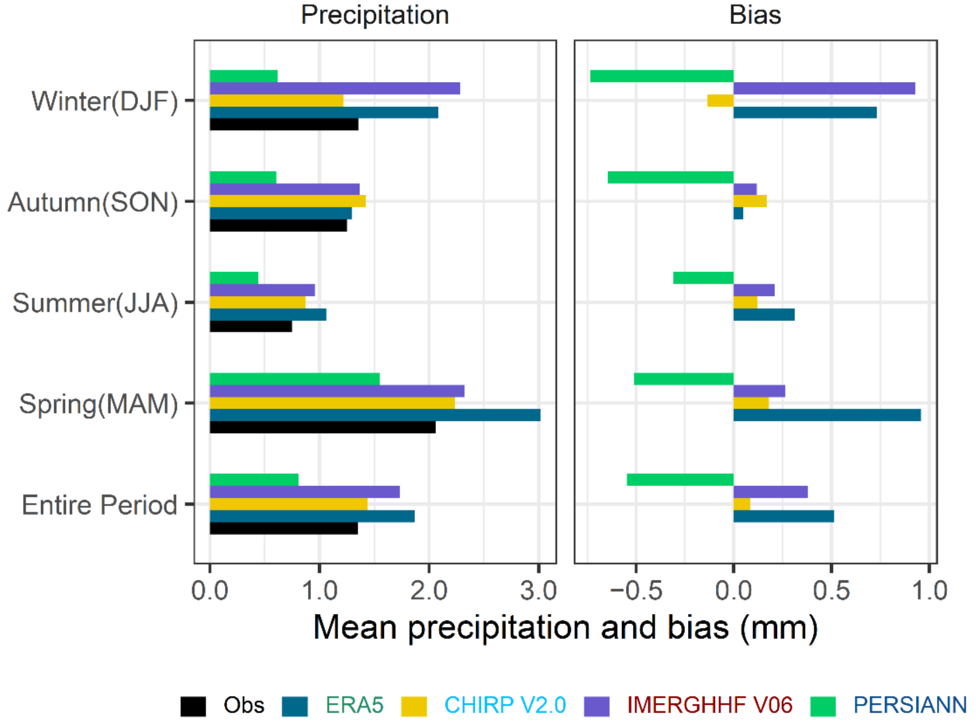


Figure 2. Mean Daily precipitation and bias at the regional scale obtained from observed and four GPDs for the entire period and four seasons. Legend text color presents: reanalysis (green), satellite and reanalysis (sky blue), gauge and satellite (red), and satellite (blue).

Among all GPDs, the PERSIANN dataset consistently underestimates mean daily precipitation compared to observed precipitation, while CHIRPv2.0 only underestimates winter precipitation. The rest of the GPDs show more precipitation for the entire period and four seasons; for example, ERA5 shows the highest overestimate (bias; 0.9mm/day) during the spring season, followed by IMERGHHFv06 (bias; 0.82mm/day) during the winter season. Overall, the range of under/overestimation of GPDs for mean daily precipitation is between -0.75mm to 0.9mm.

GPD reliability in space and time

Figure 3 presents the reliability of each GPD at the regional scale in the form of KGE and its components for the entire period and four seasons. For the entire period (2015-2019), ERA5 presents high performance (KGE; 0.28) followed by CHIRPv2.0 (KGE; 0.14), IMERGHHFv06 (KGE; 0.14), and

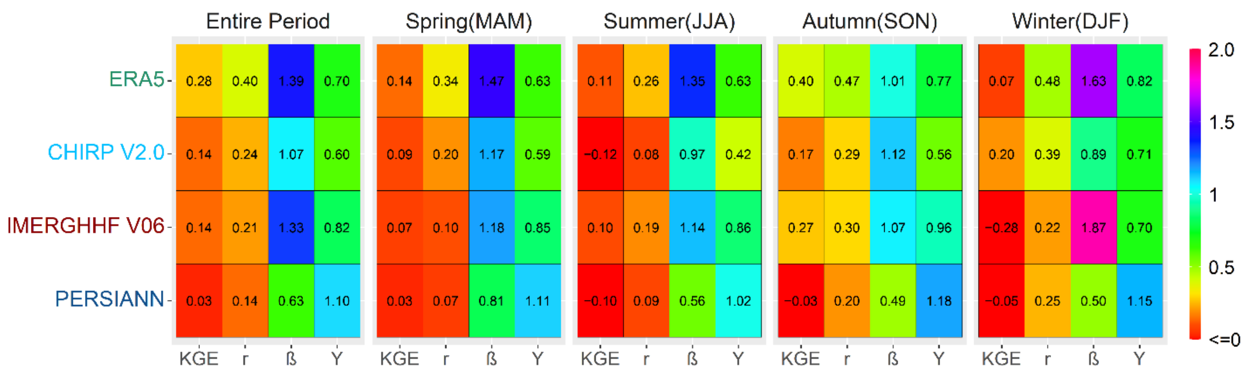


Figure 3. GPD reliability at the regional scale for the entire period and four seasons is expressed in the form of KGE and its components. Y-axis color presents: reanalysis (green), satellite and reanalysis (sky blue), gauge and satellite (red), and satellite (blue).

PERSIANN (KGE; 0.03) where ERA5 shows high correlation coefficient among other GPDs. Likewise, except PERSIANN, all GPDs overestimate bias and underestimate variability ratio, respectively. For the seasonal performance, all GPDs show lower performance during the summer season where only PERSIANN shows poor performance during the autumn season. IMERGHHFv06 presents high KGE (0.20) for the winter season, where the rest of the GPDs perform weakly.

The GPD performance at the station location is expressed by KGE and its components (Figure 4). ERA5, CHIRPv2.0, and IMERGHHFv06 are more effective in the southern region, where PERSIANN shows weak performance in general but presents better KGE in the northern parts compared to CHIRPv2.0 and IMERGHHFv06. Furthermore, IMERGHHFv06 shows higher KGE within the basin, followed by CHIRPSv2.0, ERA5, and PERSIANN. Moreover, all GPDs show a high correlation coefficient (r) where no clear trend is observed for bias (β), and only PERSIANN overestimates variability ratio (γ) spatially.

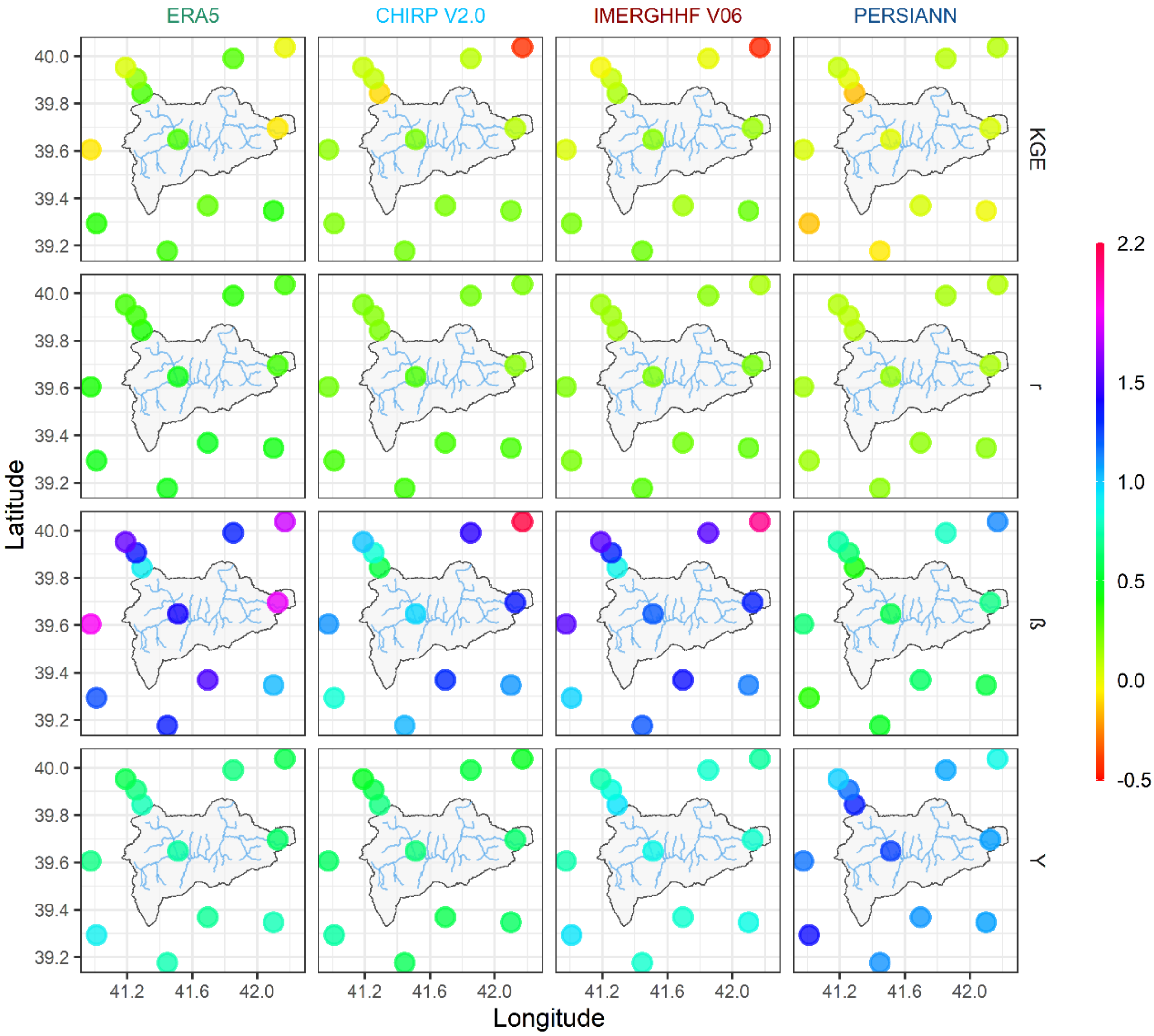


Figure 4. GPD reliability at the station location expressed in the form of KGE and its components considering the entire period (2015-2019) precipitation. Title color presents: reanalysis (green), satellite and reanalysis (sky blue), gauge and satellite (red), and satellite (blue).

Figure 5 shows the detectability strength of each GPD at the regional scale and is expressed in the form of Hanssen–Kuiper (HK) score for five distinct daily precipitation intensities, considering the entire period and seasonal variability of precipitation over the region. In general, it is observed that GPD detectability is more effective for precipitation intensity less than 1mm/day. Furthermore, GPDs show high detectability for low intensity, and detectability strength decreases as the precipitation intensity increases. However, there can be some fluctuations in the pattern; for example, IMERGHHFv06 is able to detect moderate precipitation with 0.17 compared to light precipitation with 0.10 during the summer

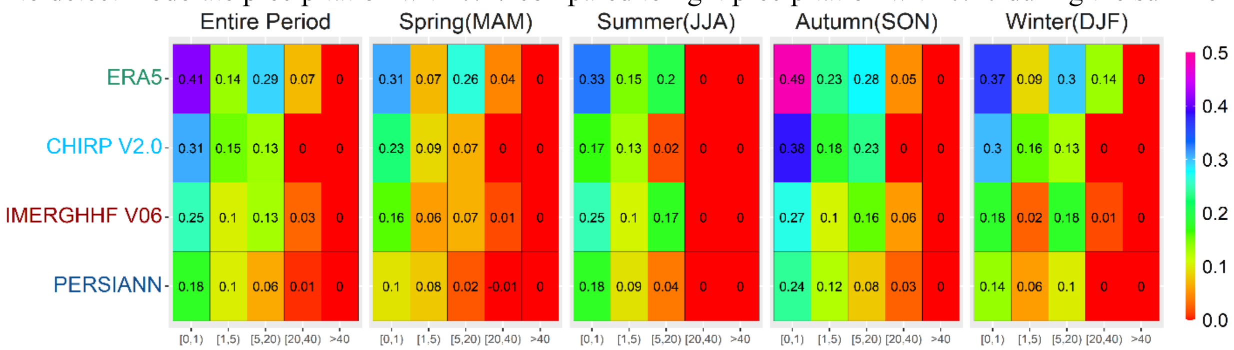


Figure 5. GPD detection ability for various precipitation intensity expressed in the form of Hanssen–Kuiper (HK) score for the entire period and four seasons. Y-axis color presents: reanalysis (green), satellite and reanalysis (sky blue), gauge and satellite (red), and satellite (blue).

season. ERA5 shows the highest detectability for all precipitation intensities compared to CHIRPv2.0 and IMERGHHFv06, whereas PERSIANN consistently shows a weak performance in capturing precipitation events.

GPD strength for streamflow prediction

Figure 6 presents observed and simulated streamflow for two schemes, including observed precipitation and four GPDs for the Upper Aras basin. The daily simulated streamflow is reproduced by TUW model considering five water years (2015-2019) which is classified into two parts, model calibration (October 2014 -September 2016) and model validation (October 2016 -September 2019).

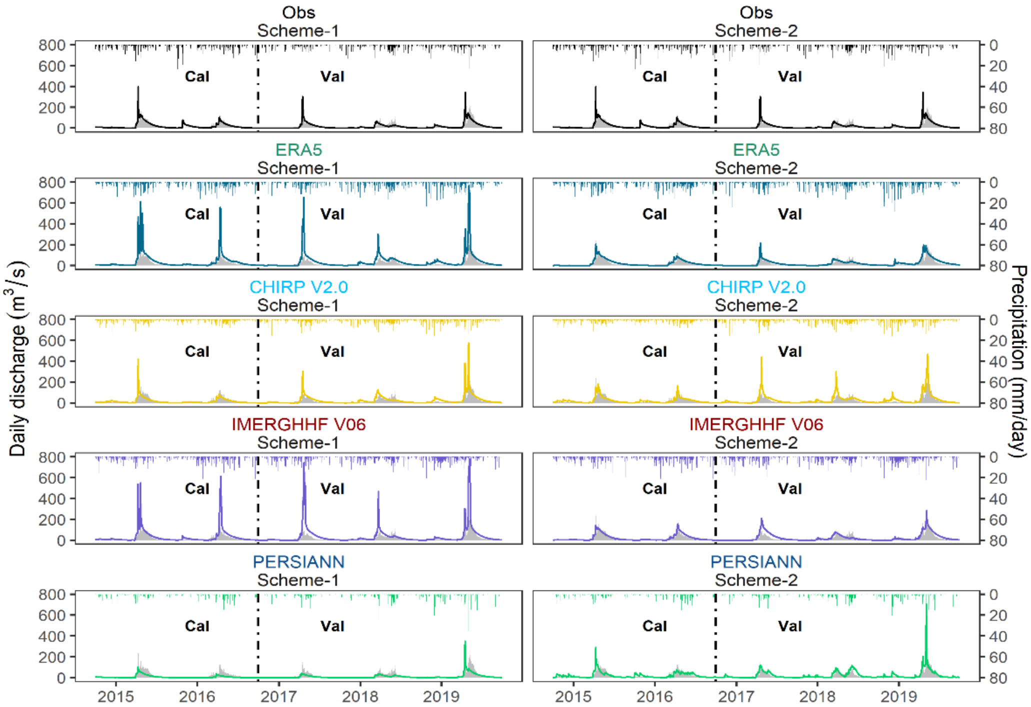


Figure 6. Observed and simulated streamflow from gauge precipitation data and four GPDs for the calibration (October 2014 -September 2016) and validation (October 2016 -September 2019) periods. Title color presents: reanalysis (green), satellite and reanalysis (sky blue), gauge and satellite (red), and satellite (blue).

Figure 7 displays the performance of GPDs for streamflow prediction in stream gauging station (D24A096) located at the outlet of the basin. The model shows high performance using gauge observations in both the calibration and validation periods. On the other hand, except CHIRPv2.0 dataset, all GPDs do not show the same success in Scheme-1, although having high correlation ratios and high bias. Furthermore, when GPDs are used as meteorological forcing for the model parameter calibration individually, all GPDs show high reproducibility of streamflow for the calibration period and show better performance for the validation period compared to gauge precipitation data. Among all GPDs, CHIRPSv2.0 indicates a different trend in that it shows an increasing calibration performance in Scheme-2 (KGE; 0.86) as compared to Scheme-1 (KGE; 0.68), but a decreasing result for the validation stage with a KGE; 0.66 in Scheme-1 to KGE; 0.58 in Scheme-2. Table 3 summarizes TUW model parameter ranges and calibration results for observed precipitation and GPDs.

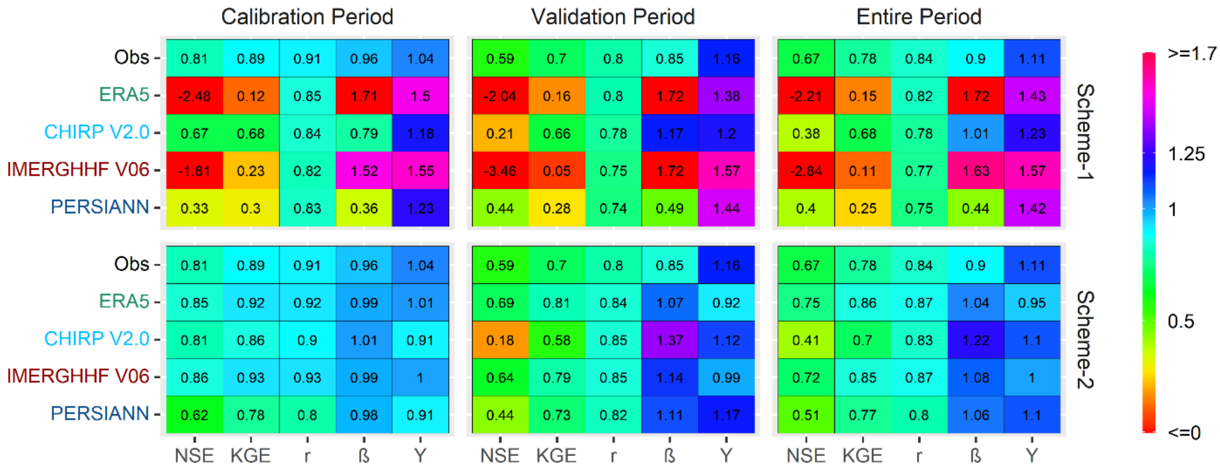


Figure 7. Statistical metrics computed between observed and simulated streamflow forced by gauge precipitation and GPDs for the calibration, validation and entire period. Y-axis color presents: reanalysis (green), satellite and reanalysis (sky blue), gauge and satellite (red), and satellite (blue).

CONCLUSIONS

This study evaluated the stability of four GPDs (ERA5, CHIRPv2.0, IMERGHHFv06, and PERSIANN) by directly comparing GPDs with in-situ precipitation derived from 12 meteorological stations. Furthermore, the hydrologic utility of GPDs for streamflow prediction is assessed by two standard calibration/validation schemes considering five water years (2015-2019). Moreover, three statistical metrics (KGE, HK, and NSE) are considered for direct comparison and hydrologic utility of GPDs. The main conclusions are summarized as follows:

- All GPDs present low performance when compared directly with observed precipitation but show better correlation and high/low bias and variability ratio. The highest performance is obtained by ERA5 (KGE; 0.40) during the autumn season.
- GPDs show high detectability for low intensity precipitation and low detectability for high intensity precipitation events. Only IMERGHHFv06 show an unclear trend of intensity-detectability for light and moderate precipitation.
- All GPDs show relatively higher ability for streamflow prediction as compared to direct precipitation observations. In addition, GPDs present higher reproducibility when model parameters are calibrated by each GPD individually (Scheme-2). CHIRPv2.0 is the only GPD that shows high reproducibility when the model is calibrated by gauge precipitation data.

Future work will include more GPDs for direct precipitation comparison and hydrologic simulations over other basins of Turkey.

REFERENCES

Amjad, M., Yilmaz, M. T., Yucel, I., & Yilmaz, K. K. (2020). *Performance evaluation of satellite-and model-based precipitation products over varying climate and complex topography*. Journal of Hydrology, 584, 124707.

Beck, H. E., Pan, M., Roy, T., Weedon, G. P., Pappenberger, F., Van Dijk, A. I., . . . Wood, E. F. (2019). *Daily evaluation of 26 precipitation datasets using Stage-IV gauge-radar data for the CONUS*. Hydrology and Earth System Sciences, 23(1), 207-224.

Bookhagen, B., & Burbank, D. W. (2006). *Topography, relief, and TRMM-derived rainfall variations along the Himalaya*. Geophysical Research Letters, 33(8).

Dembélé, M., Ceperley, N., Zwart, S. J., Salvadore, E., Mariethoz, G., & Schaefli, B. (2020). *Potential of satellite and reanalysis evaporation datasets for hydrological modelling under various model calibration strategies*. Advances in Water Resources, 143, 103667.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., . . . Hoell, A. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes*. Scientific data, 2(1), 1-21.

Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., & Martinez, G. F. (2009). *Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling*. Journal of Hydrology, 377(1-2), 80-91.

Hafizi, H., & Sorman, A. A. (2021). *Assessment of Satellite and Reanalysis Precipitation Products for Rainfall–Runoff Modelling in a Mountainous Basin*. Environmental Sciences Proceedings, 8(1), 25.

Herold, N., Behrangi, A., & Alexander, L. V. (2017). *Large uncertainties in observed daily precipitation extremes over land.* Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 122(2), 668-681.

Hersbach, H., & Dee, D. (2016). *ERA5 reanalysis is in production, ECMWF Newsletter, Vol. 147. Reading, United Kingdom: ECMWF www. ecmwf.* int/sites/default/files/elibrary/2016/16299newsletterno147spring2016. pdf.

Hsu, K. l., Gupta, H. V., Gao, X., & Sorooshian, S. (1999). *Estimation of physical variables from multichannel remotely sensed imagery using a neural network: Application to rainfall estimation*. Water Resources Research, 35(5), 1605-1618.

Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K.-L., Joyce, R. J., Kidd, C., . . . Tan, J. (2020). *Integrated Multi-satellite Retrievals for the Global Precipitation Measurement (GPM) Mission (IMERG)*. In Satellite Precipitation Measurement (pp. 343-353): Springer.

Kling, H., Fuchs, M., & Paulin, M. (2012). *Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios.* Journal of Hydrology, 424, 264-277.

Lu, X., Tang, G., Liu, X., Wang, X., Liu, Y., & Wei, M. (2021). *The potential and uncertainty of triple collocation in assessing satellite precipitation products in Central Asia*. Atmospheric Research, 252, 105452.

Nazeer, A., Maskey, S., Skaugen, T., & McClain, M. E. (2022). *Simulating the hydrological regime of the snow fed and glaciarised Gilgit Basin in the Upper Indus using global precipitation products and a data parsimonious precipitation-runoff model.* Science of The Total Environment, 802, 149872.

Parajka, J., Merz, R., & Blöschl, G. (2007). *Uncertainty and multiple objective calibration in regional water balance modelling: case study in 320 Austrian catchments*. Hydrological Processes: An International Journal, 21(4), 435-446.

Qi, W., Yong, B., & Gourley, J. J. (2021). *Monitoring the Super Typhoon Lekima by GPM-based near-real-time satellite precipitation estimates*. Journal of Hydrology, 126968.

Satgé, F., Defrance, D., Sultan, B., Bonnet, M.-P., Seyler, F., Rouché, N., . . . Paturel, J.-E. (2020). *Evaluation of 23 gridded precipitation datasets across West Africa*. Journal of Hydrology, 581, 124412.

Sevruk, B. (1987). *Point precipitation measurements: why are they not corrected*. Water for the future: Hydrology in perspective, 447-457.

Shi, H., Chen, J., Li, T., & Wang, G. (2017). *A new method for estimation of spatially distributed rainfall through merging satellite observations, raingauge records, and terrain digital elevation model data.* Journal of Hydro-environment Research.

Sorman, A. A., Emin, T., & Dogan, Y. O. (2020). *Comparison of hydrological models in upper Aras basin*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(6), 1015-1022.

Sorooshian, S., Hsu, K.-L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B., & Braithwaite, D. (2000). *Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall*. Bulletin of the American Meteorological Society, 81(9), 2035-2046.

Su, J., Li, X., Ren, W., Lü, H., & Zheng, D. (2021). *How reliable are the satellite-based precipitation estimations in guiding hydrological modelling in South China?* Journal of Hydrology, 602, 126705.

Uysal, G., Hafizi, H., & Sorman, A. A. (2021). *Spatial and temporal evaluation of multiple gridded precipitation datasets over complex topography and variable climate of Turkey.* Paper presented at the EGU General Assembly Conference Abstracts.

Uysal, G., & Şorman, A. Ü. (2021). *Evaluation of PERSIANN family remote sensing precipitation products for snowmelt runoff estimation in a mountainous basin*. Hydrological Sciences Journal, 1-18.

Xie, P., Chen, M., Yang, S., Yatagai, A., Hayasaka, T., Fukushima, Y., & Liu, C. (2007). *A Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation over East Asia*. Journal of Hydrometeorology, 8(3), 607-626.

Zambrano-Bigiarini, M., Nauditt, A., Birkel, C., Verbist, K., & Ribbe, L. (2017). *Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile*. Hydrology and Earth System Sciences, 21(2), 1295.

Zambrano-Bigiarini, M. a. B.-V., O. (2020). *Tutorial for using hydroPSO to calibrate TUWmodel*. doi:10.5281/zenodo.3772176

Detection of Forest Fires from MSG Satellite

Figen ÖZCAN, Ahmet ÖZTOPAL
Istanbul Technical University
Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Meteorological Engineering
ozcanf15@itu.edu.tr; oztopal@itu.edu.tr

ABSTRACT

Forests are the lungs of the ecosystem and their role in the water cycle is undeniable. It has important contributions in the formation of groundwater and in the prevention of erosion. They are essential for the continuation of wildlife. The biggest danger and source of destruction of forests, which are of such great importance for life in the world, are fires. In addition to the ecological and economic damages of forest fires, loss of life is also an important problem. At this point, it is vital to detect and monitor forest fires in order to prevent them or reduce their damage with early intervention. In this context, continuous monitoring and detection via remote sensing, or in other words, geostationary satellites, is a very important opportunity. In this study, forest fire detection for 5 different incidents was carried out on the METEOSAT 2nd Generation Satellite (MSG), which is operated by the European Meteorological Satellites Operation Organization (EUMETSAT), using the software named TMetVis, and forest destruction was determined by the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) calculation and potential fire risks with active fire have been successfully demonstrated.

***Keywords*:** MSG, wildfires, remote sensing, TMetVis.

Orman Yangınlarının MSG Uydusundan Tespiti

ÖZET

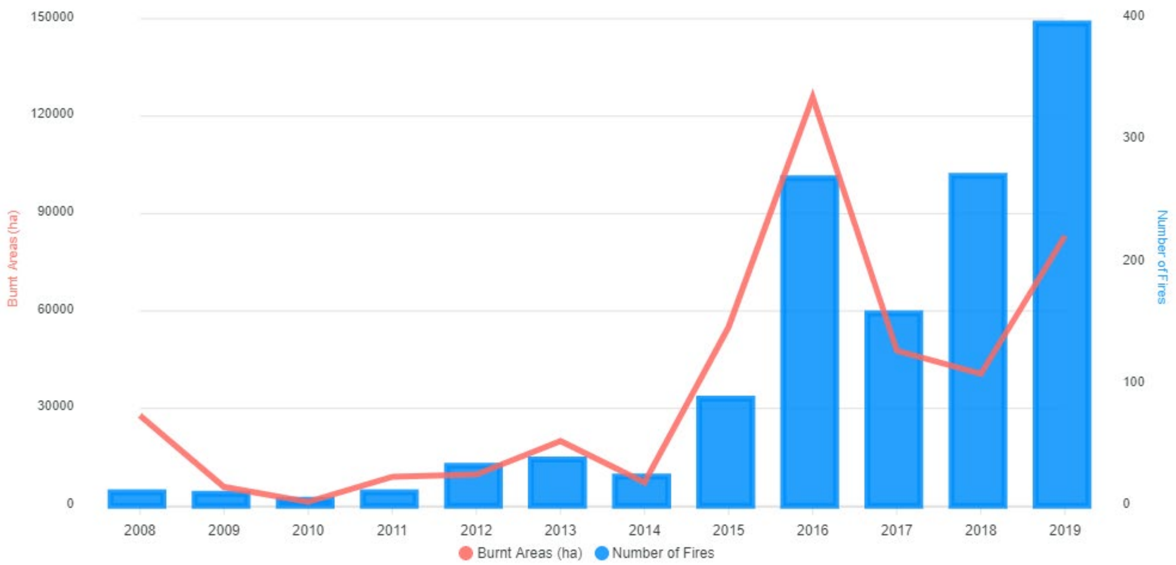
Ormanlar ekosistemin akciğerleridir ve su döngüsündeki rolleri yadsınamaz. Yeraltı sularının oluşmasında ve erozyonun önlenmesinde önemli katkıları bulunmaktadır. Yaban hayatının devamı için elzemdirler. Dünyadaki yaşam için böylesine büyük bir öneme sahip ormanların en büyük tehlike ve tahribat kaynağı yangınlardır. Meydana gelen orman yangınlarının ekolojik ve ekonomik zararlarının yanında can kayıpları da önemli bir sorundur. İşte bu noktada, orman yangınlarını engellemek ya da erken müdahale ile zararlarını azaltmak amacıyla yangınların tespit ve izlenmesi hayati önem taşımaktadır. Bu kapsamda da uzaktan algılama ile ya da başka bir deyişle yer durağan uydular üzerinden sürekli izleme ve tespit yapılabilmesi, çok önemli bir imkândır. İşte bu çalışmada, Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı (EUMETSAT) tarafından işletilmekte olan METEOSAT 2. Nesil Uydusu (MSG) üzerinden 5 farklı vaka için orman yangını tespiti TMetVis isimli yazılım üzerinden gerçekleştirilerek, Normalize Fark Bitki Örtüsü Endeksi (NDVI) hesaplaması ile orman tahribatı belirlenmiş ve aktif yangın ile potansiyel yangın riskleri başarılı bir şekilde ortaya konulmuştur.

***Anahtar Kelimeler*:** MSG, orman yangını, uzaktan algılama, TMetVis

GİRİŞ

Ekosistemin akciğerleri olarak tanımlanan ormanlar, yaşam için gerekli olan oksijen ve karbondioksit gazları arasındaki doğal dengeyi sağlar. 100 yaşındaki bir kayın ağacı, saatte yaklaşık 40 kişinin ürettiği 2,35 kilogram karbondioksiti tüketir (Orman Genel Müdürlüğü t.y.). Dünya'daki 4 milyar hektardan fazla ormanlık alan, su döngüsünde önemli bir role sahiptir (Esemen 2011). Ayrıca yeraltı sularının oluşmasına yardım eder. Ormansız alanlarda yağışın yalnızca % 44'ü toprağa sızabilirken, ormanlık bir alanda yağışın % 82'si toprağa sızarak yer altı sularına katkıda bulunur (OGM t.y.). Ormanlar erozyonu önler. Ormanlık alanda 1 m2 yüzeyden taşınan toprak miktarı 40 gram iken, ormansız çıplak alanda bu miktar 1500 grama ulaşır (OGM t.y.). Ayrıca, ormanlar yaban hayatı ve av kaynaklarını korur. Milyonlarca canlıya ev sahipliği yapar. Avrupa'da orman kaynakları kıtanın üçte birini kaplayarak zengin bir ekosistem oluşturur ve Avrupa ülkelerinde biyolojik kaynaklı ekonomiyi destekler (de Rigo vd. 2017).

Yangın, Akdeniz bölgesinde ormanların tahribatından sorumlu en önemli unsurdur. Son yıllarda Avrupa ve Akdeniz bölgelerinde orman yangınları belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Bunun en önemli sebepleri olarak toprak kullanımının değişimi ve klimatolojik ısınma gösterilebilir. Orman yangınlarının toprak üzerindeki en temel etkileri yanma sırasında besinin kaybı ve yangından sonra toprakta erozyon riskinin artmasıdır (Pausas ve Vallejo 1999). Akdeniz ülkelerinde her yıl yaklaşık 50 bin yangın, ortalama 850 bin hektar ormanlık alanı yok etmektedir. Orman yangınlarıyla ilgili olarak yapılan araştırmalara göre, yangınların % 3-8'i yıldırımdan, % 12'si kasten (bilerek yakma), % 80'i ihmal ve dikkatsizlikten çıkmaktadır. Bu rakamlardan da anlaşıldığı üzere yangınların % 92-97'si insanlardan ya da insanlara bağlı faktörlerden kaynaklanmaktadır (OGM t.y.). Şekil 1, Türkiye'de 2008-2019 yılları arası meydana gelen yıllık ortalama yangın sayısını (mavi) ve aynı dönemde hektar cinsinden ortalama yanan alan miktarını (kırmızı) göstermektedir (European Commission 2020).



Şekil 1. 2008-2019 yılları arası Türkiye'de kaydedilmiş yıllık ortalama orman yangını sayısı (mavi) ve aynı dönemde hektar cinsinden yanan alan miktarı (kırmızı) (European Commission 2020).

Grafikten görüldüğü üzere; yangın sayısı son yıllarda rekor seviyelere gelerek artmaya devam etmiştir. Bu artışta iklim değişimi ve sıcak hava dalgalarının etkisi olduğu söylenebilir. Bundan sonraki süreçte, sürekli gelişen uzaktan algılama sistemleri sayesinde erken müdahale ve gözlemler ile yangın sayısında ve yanmış alan büyüklüklerinde azalma yaşanacağı tahmin edilmektedir.

Günümüzde, dünya gözlem uyduları, elektromanyetik spektrumun görünür ve kızıl ötesi kısımlarını kullanarak nem içeriği gibi bitki fizyolojik parametrelerinin değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Uydu sensörlerinden elde edilen spektral veri, bitki örtüsü parametreleriyle yakından ilgilidir. Örneğin, suyun güçlü absorblandığı Landsat 7 uydusunun 1,3 ve 2,5 μm arası dalga boyuna sahip kızılötesi bandı, bitki su içeriği tayini için çok uygundur. Bu nedenle bu bant meteorolojik yangın tehlike endeksleri için de kullanışlıdır. Ne yazık ki bu spektral bant, çoğu uydu sistemlerinde mevcut değildir. Günümüzde su içeriği tayini görünür, yakın kızılötesi ve termal kızılötesi verilerine dayanmaktadır. Yaşayan bitki örtüsünün endirekt su içeriği tayini, kırmızı ve yakın kızılötesi bantlar kullanılarak yapılmaktadır. Spektral bitki örtüsü endeksleri bu iki bandın kontrastı kullanılarak hesaplanır (Camia vd. 1999). Gillon ve arkadaşları (2002) yakın kızılötesi yansıtıcılık spektroskopisi (NIRS) teknolojisi kullanılarak, Akdeniz yaprak dökmeyen türlerinin taze yapraklarının ilk nem içeriğinin spektral özelliklerinden ölçülmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Uzaktan algılama teknikleri, sağladığı tüm bu detaylı bilgilerle gelecekte de yangın tehlike tahmin modellerine büyük katkıda bulunmaya devam edecektir (Camia vd. 1999).

Orman yangınlarını engellemek ya da erken müdahale ile etkilerini azalmak amacıyla yangınların tespit ve izlenmesi hayati önem taşımaktadır. Yer durağan yörüngeli uydular, sık ve sürekli görüntü alabilme kabiliyetlerinden dolayı yangınların erken tespiti ve izlenmesi konusunda ideal uzaktan algılama sistemleridir. Bu bağlamda, bu çalışmada EUMETSAT üzerinden elde edilen, 5 farklı yangın için Meteosat II. Nesil uydu verileri incelenmiştir. Bu veriler TMetVis programı vasıtasıyla, farklı kanallarda, RGB kompozitlerinde ve kanal farklarında görüntülenmiştir. Elde edilen bulgularla NDVI hesaplamaları yapılarak bitki örtüsü tahribatı incelenmiştir. Son olarak FIR algoritması testleri uygulanarak, yangın bölgesinde aktif yangın olduğu kanıtlanmıştır. Farklı bölgeler için bu algoritma kullanılarak potansiyel yangın riski belirlenmiştir.

UZAKTAN ALGILAMA İLE YANGIN ANALİZİ

Orman yangınları sonrasında, yanan araziye ulaşımın zor olması ve arazi çalışmalarının yüksek maliyetli olması nedeniyle veri toplamak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle son yıllarda orman yangını sonrası çalışmalar için uzaktan algılama teknolojileri kullanılmaktadır (Sabuncu & Özener, 2019). Sabuncu ve Özener, 2009 yılında İzmir'de meydana gelen yangını inceledikleri araştırmalarında 7 adet spektral banda sahip olan Landsat 5 uydu görüntülerinden faydalanmıştır. Yanan alanın miktarını tespit etmek için Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Normalized Burned Ratio-NBR) ve Normalize Edilmiş Vejetasyon Endeksi (Normalized Differenced Vegetation Index - NDVI) ile bu endekslerin yangın öncesi ve sonrası farkları kullanılarak elde edilen Fark Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti (Difference Normalized Burned Ratio-dNBR) ve Fark Normalize Edilmiş Vejetasyon Endeksi gibi çeşitli uzaktan algılama endeksleri hesaplamışlardır. Elde edilen sonuçlar Orman Genel Müdürlüğü'nden alınan hasar tahmin sonuçları ile karşılaştırılmıştır (2019).

Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Endeksi, yeşil bitki örtüsü yoğunluğu tespitinde ve zaman içindeki değişimlerinin izlenmesinde en sık kullanılan endekstir. NDVI, yakın kızıl ötesi ve kırmızı bant görüntülerinin kullanıldığı matematiksel bir oranla belirlenir (Sabuncu & Özener, 2019). Yangın sonrası bitki örtüsünün fiziksel özelliklerinin değişmesinin yanında, kimyasal değişimler de meydana gelir. Bunlara bitki örtüsünde terlemenin azalması, yüzeyin kül ile kaplanması ve yüzey sıcaklığındaki ani artış sonucu spektral yansıtımlardaki değişiklikler örnek olarak verilebilir (Lanorte vd. 2013). Yanan bölge tespitinde kullanılan bir diğer endeks olan Normalize Edilmiş Yanma Şiddeti Endeksi (NBR), ormanlık alanlardaki yangın öncesi ve yangın sonrası görüntüler arasındaki değişikliği tespit edebilmek için yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi bantlarını matematiksel bir oranla ifade eder. Bunun dışında Fark Normalize Yanma Şiddeti Endeksi (Differenced Normalized Burn Ratio- dNBR), yangın öncesi ve sonrası normalize edilmiş yanma şiddeti endekslerinin birbirinden çıkarımı sonucu elde edilmektedir (Sabuncu & Özener, 2019).

Landsat, SPOT, Terra ve GÖKTÜRK-2 gibi güneş-senkronize polar yörüngeli uydular, yüksek mekânsal çözünürlükleri nedeniyle yangın ve yer gözlemlerinde sıklıkla başvurulan sistemlerdir (GÖKTÜRK-2, t.y.; Thome, t.y.). Landsat uyduları 1970lerden bugüne yangınlar hakkında veri toplamaktadır (Landsat, 2019). Bu uydular yangın bölgesini detaylı olarak görüntüleme imkânlarına karşın; yer senkronize olmamaları ve bu nedenle sürekli görüntü alamamalarından dolayı yangın analizlerinde yangının tüm süreçlerini takip edememektedir. Buna karşın, sık ve sürekli bir şekilde görüntü alabilme kabiliyetine sahip sabit yörüngeli uydular, yangınların erken tespiti konusunda, uydu tabanlı çözümler içerisinde en ideal sistemlerden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu tür sistemlerin doğruluk ve tutarlılığı, görüntüsü kullanılan uydunun mekânsal ve zamansal çözünürlüklerine ve kullanılan tespit metodunun hassasiyetine bağlıdır. Bunlara rağmen, uzaktan algılama sistemlerinin orman yangınların tespit çalışmalarında insan tabanlı hataları ortadan kaldırarak, sistematik ve tutarlı bir veri seti sağlayacağı düşünülmektedir (Tekeli vd. 2007).

Meteosat İkinci Nesil Uydular ile Yangın Analizi

Ekvatorun 36.000 km üzerinde, yer durağan yörüngede bulunan Meteosat ikinci nesil uyduları - Meteosat-8, -9, -10 ve -11 - Avrupa, Afrika ve Hint Okyanusu üzerinde 2002'ten beri faaliyet göstermektedir. MSG uyduları bir çift sensör taşımaktadır. Bunlar, Dünya'yı 12 spektral kanalda gözlemleyen Dönen Geliştirilmiş Görünür ve Kızılötesi Görüntüleyici (SEVIRI) ve Dünya radyasyon bütçesi çalışmaları için görünür kızılötesi radyometre olan Yer Durağan Dünya Radyasyon Bütçesi (GERB) sensörleridir. Uydular, meteorologların operasyonel kullanımı için sürekli olarak her 15 dakikada bir Avrupa, Kuzey Atlantik ve Afrika'nın ayrıntılı görüntülerini kaydeder (EUMETSAT t.y.).

Meteorolojik uydular büyük ölçekli duman ve yangınların tespiti ve afet boyutlarının incelenmesi konularında verimli bir şekilde kullanılabilmektedir.

Wien Yasası'na göre Meteosat İkinci Nesil uydularının yangın tespit edebildiği ve izleyebildiği en iyi dalga boyu 3,9 μm'dir. Bunun nedeni 743 K sıcaklığındaki bir yangının en fazla ışıma yapabildiği; dolayısıyla en kolay ayırt edilebildiği, dalga boyunun 3,9 μm olmasıdır. Bu dalga boyu, MSG uydusunun SEVIRI sensörünün 12 kanalından biri olan kanal 4'e karşılık gelir. Bunun yanında, 3,9 μm civarındaki spektral bantların yangın tespiti için çok uygun olmasının diğer nedenleri, sıcaklık duyarlılığı ve alt-piksel yanıtıdır (EUMETRAIN 2012). Bunun yanında EUMETSAT, yangın olasılığı tayini yaparken FIR algoritmasında IR3.9-IR10.8 sıcaklık farkı testini kullanmaktadır. Fark ne kadar fazlaysa olasılık o kadar yüksektir (EUMETRAIN 2012).

Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

Yaygın olarak kullanılan bir spektral bitki örtüsü endeksi Normalize Fark Bitki Örtüsü Endeksidir (NDVI). NDVI, fotosentezik aktivite belirleyicisidir. Normalize Fark Bitki Örtüsü Endeksi, yakın kızıl ötesi (bitki örtüsünün kuvvetli şekilde yansıttığı) ve kırmızı ışık (bitki örtüsünün absorbe ettiği) yansıtıcılıkları arasındaki farkı ölçerek bitki örtüsünü belirler. Değerleri -1 ve +1 arasında değişmektedir. Negatif değerler su, bulut ve kar bölgesini temsil etmektedir. 0,1 ve daha az değerler taşlık alanlar, çöl ve şehirleşmiş alanlar gibi bitki örtüsünün hiç olmadığı alanları göstermektedir. Öte yandan, orta değerler (0,2 ila 0,3) çalıları ve çayırları temsil ederken; büyük NDVI değerleri (0,6 ila 0,8), ılıman ve tropik ormanları gösterir (Web-1).

NDVI hesaplanırken yakın kızılötesi ve kırmızı kanalların yansıtma değeri kullanılır (Denklem 1).

$$\text{NDVI} = (\text{Yakın Kızılötesi} - \text{Kırmızı}) / (\text{Yakın Kızılötesi} + \text{Kırmızı}) \qquad (1)$$

Sağlıklı bitki örtüsü (klorofil) diğer dalga boylarına kıyasla yakın kızılötesi (NIR) ve yeşil ışığı daha fazla yansıtır. Fakat kırmızı ve mavi ışığı absorblar. Sağlıksız bitki örtüsünün yakın kızılötesi radyasyonu yansıtma değeri daha azdır. Bununla beraber, kırmızıyı daha fazla yansıtır (Tekeli vd. 2007). Yansıtma yüzdeleri, kullanılan uydunun ilgili kanalından edinilebilir. MSG uydusunun SEVIRI sensöründe yakın kızılötesi yansıtıcılık için 0,8 μm kanalı kullanılırken, kırmızı (görünür) yansıtıcılık değeri için 0,6 μm kanalı kullanılır (EUMETSAT 2012). Yansıtma yüzdeleri denklemde uygulandığında sağlıklı bitki örtüsünün NDVI değeri +1'e daha yakınken, sağlıksız bitki örtüsünün değeri 0'a yaklaşmaktadır.

Uydudan elde edilen bilgilerle ve NDVI hesaplama yöntemiyle sağlıklı bitki örtüsü alanı, sağlıksız ya da bitki örtüsüz alandan ayırt edilebilir. Bununla birlikte, eğer zaman içindeki bitki örtüsü değişimi görülmek isteniyorsa atmosferik düzeltme yapılmalıdır (Web-1). Atmosferik düzeltmeyle birlikte saçılma ve absorblanma etkileri atmosferden kaldırılır. NDVI, tarımda biokütle ölçümü amacıyla ve ormancılık alanında kullanılır. Ayrıca NASA için NDVI, iyi bir kuraklık habercisidir (Web-2).

Meteosat İkinci Nesil Uyduları ile FIR Ürünü

MSG-1 uydusu, meteorolojik görüntü ve ürün elde edilmesine imkân veren SEVIRI ve GERB sensörlerine sahiptir. 12 spektral kanalda 15 dakika sıklıkla görüntü sağlayabilen SEVIRI'den elde edilen veriler ışığında MSG Aktif Yangın Gözleme (FIR) ürünü elde edilmektedir. Uydu alt noktası için 3 km x 3 km mekânsal çözünürlüğe sahip olan FIR ürünü resim tabanlı olup, tüm pikseller için çalıştırılmaktadır (Tekeli vd. 2007).

Aktif Yangın İzleme Ürünü (FIR), EUMETSAT'ın Meteoroloji Ürünleri Ekstraksiyon Tesisi (MPEF) tarafından, 2005 yazında Portekiz Meteoroloji Enstitüsü, Instituto de Meteorologia'nın isteği üzerine geliştirilmiştir. Ürünün ilk versiyonu Ekim 2005'te kullanıma sunulmuş ve kullanıcılara GRIB2 formatında web ve FTP üzerinden dağıtılmıştır. 2006 yılının Şubat ayında, ürünün dağıtımı EUMETCast'e devredilmiştir. Nisan 2007'den itibaren ürün ASCII formatında da mevcuttur. FIR eşik ayarının amacı, yanlış alarm sayısını mümkün olduğu kadar düşük tutarken; iyi yangın algılamasını sağlamaktır (Joro vd. t.y.).

Meteorolojik Operasyonlar Birimi (MOD) altında üretilen ve 2005 yılından beri operasyonel olan FIR algoritması, daha önceden kullanılmış olan algoritmaların güncellenmesiyle elde edilmiştir. Algoritmanın temel aldığı SEVIRI'nin kızılötesi 3,9 μm kanalı, yangınların yarattığı sıcak noktalara karşı duyarlıdır. Diğer kanallar, kızılötesi 10,8 ve kızılötesi 8,7; bulut kenarlarını, kıyı alanlarını ve çölleri taramak için kullanılmaktadır (Joro vd. t.y.). FIR ürünü IR3,9, IR8,7 ve IR10,8 kanallarının parlaklık sıcaklıklarını bulutsuz arazi alanları üzerinde karşılaştırır, daha sonra her piksele üç yangın durumundan birini atar: yangınsız, potansiyel veya muhtemel yangın. Ayrıca algoritma, potansiyel yangın ile aktif yangın arasında ayrım yapar. Bir pikseli aktif yangın olarak sınıflandırmak için, potansiyel yangınlardan daha katı bir sınıflandırma kriteri kullanılır. Potansiyel yangınların sınıflandırılması küçük yangınlı pikseller veya sönmüş yangınlı ama sıcak yüzeyler olan piksellerdir (EUMETSAT 2015). Kara yüzeyleri için çalıştırılan algoritma, deniz yüzü yangınlarını tespit edememektedir (Tekeli vd. 2007).

FIR algoritmasında ana girdiler, SEVIRI'den IR3,9, IR8,7 ve IR10,8 görüntüleridir. Algoritma çıplak toprak yüzey tipleri (çöl ve açık çalı alanları) ve küçük adalar üzerindeki aktif volkanlar hariç, bulutsuz kara alanları üzerinde uygulanır (EUMETSAT 2015). Ayrıca, çıplak toprak yüzeylerin tespiti için IR10,8 – IR8,7 <5 K fark testi uygulanır. Bunun nedeni IR8,7 kanalının çıplak toprak yüzeyler için yayılımının IR10,8 kanalının yayılımından çok daha küçük olmasıdır (Joro vd. t.y.).

Kalan geçerli pikseller için, FIR algoritması yangın ve potansiyel yangın piksellerini kontrol etmek için aşağıdaki dört kriteri kullanır:

• IR3,9 kanalının parlaklık sıcaklığı

• IR3,9 kanalının standart sapması

• IR3,9 ve IR10,8 kanallarının parlaklık sıcaklık farkı

• IR10,8 kanalının standart sapması

IR3,9 kanalının parlaklık sıcaklığı yangından kaynaklanan sıcak noktaları toplar. Gece ve gündüz için farklı olan, basit sabit sıcaklık eşikleri kullanılır. Küçük yangınları büyük ve sıcak yangınlardan ayırt etmek için, merkezi bir sıcak nokta etrafında, kanal IR3,9'un standart sapması (StdDev IR3,9) kullanılır. IR10,8 kanalı sıcak noktalara karşı daha az hassas olduğundan, IR3,9 ve IR10,8 kanallarının parlaklık sıcaklık farkı yüksektir ve ek olarak bu fark, yangın olasılığı belirlemek için kullanılır. Fark ne kadar fazlaysa, olasılık o kadar fazladır. Yukarıdaki testlerden ilk üçünü geçen pikseller de bulutlara, çok çeşitli yüzey tiplerine ya da çok değişken arazi yüksekliğine bağlı olarak yanlış alarmlara neden olabilir. Bunun düzeltmesi IR10,8 kanalının standart sapması (StdDev IR10,8) kullanılarak yapılır. Standart sapmalar, her bir SEVIRI pikselinin üzerindeki 3 x 3 alt-piksel dizisi üzerinde hesaplanır. Olası su ve bulut pikselleri hesaba dahil edilmez. Hesaplamalar için 3 alt-pikselden daha azı kullanılabiliniyorsa testler iptal edilir (Joro vd. t.y.).

Tablo 1'de, testler için eşik değerleri Kelvin cinsinden gösterilmektedir. Yangın olabilmesi için tüm testlerin başarıyla geçilebilmesi gereklidir. "Gündüz" lokal güneş zenit açısının 70°'den küçük olduğu, "gece" ise 90°'den büyük olduğu durumları ifade etmektedir. Aradaki güneş zenit açıları için eşik değerleri doğrusal olarak enterpolasyonludur (Joro vd. t.y.).

Tablo 1. FIR ürünü için eşik değerleri (Joro vd. t.y.).

Test	Yangın		Potansiyel Yangın	
	Gündüz (K)	Gece (K)	Gündüz (K)	Gece (K)
IR 3,9	>310	>290	>310	>290
StdDev IR 3,9	>4	>4	>2	>2
IR 3,9-IR10,8	>8	>0	>5	>-1
StdDev IR10,8	<1	<1	<1	<1

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde; EUMETSAT sitesinden alınmış Meteosat İkinci Nesil Uydusunun SEVIRI sensöründen elde edilen ham veriler materyal olarak kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzaktan Algıma Şube Müdürlüğü tarafından geliştirilen TMetPro programında işlenerek, TMetVis programında görüntülenmiştir. Çalışma metodu, belirli bir tarih ve saat için, uydu görüntüsünün istenen kanalda, RGB uygulamalarında veya tanımlanan kanal farklarında görüntülenmesiyle olmuştur. Bunun sonrasında, imlecin bulunduğu koordinatın, yansıtıcılık yüzdesi veya sıcaklık değeri ekranda görünmektedir. Kanal 1 ve Kanal 2 görüntülerinde yansıtıcılık değeri, Kanal 3 ve Kanal 12 arası tüm kanallarda Kelvin cinsinden sıcaklık değeri, RGB uygulamalarında ise renk farklılıkları dikkate alınmaktadır. NDVI hesaplamaları yapılırken ve FIR ürünü koşullarını test ederken, gereken kanalların ilgili değerleri kullanılmaktadır. NDVI hesaplamaları sonucu elde edilen sayısal değer, genel aralıkta bulunduğu konuma göre yorumlanır. FIR testlerinde gereken kanalda, ilgili koordinatın sıcaklık değeri tespit edildikten sonra, Tablo 1'deki FIR ürünü eşik değerleriyle kıyaslanarak yorumlanır ve sonuca varılır.

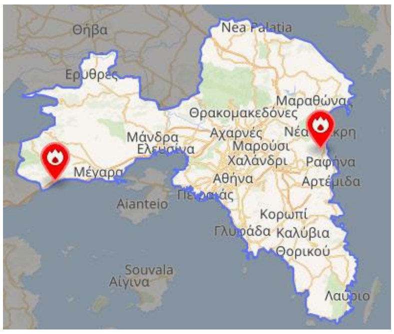
BULGULAR VE TARTIŞMA

23-26 Temmuz 2018 Yunanistan Yangını

2018 Avrupa sıcak dalgası sırasında Yunanistan'da bir dizi orman yangını, Temmuz 2018'de Attika kıyı bölgelerinde başlamıştır. Yangınlar 23 Temmuzdan 26 Temmuz'a kadar 3 gün boyunca devam etmiştir. Yangının bir elektrik direğindeki hasarlı bir kablodan dolayı başladığı belirtilmiştir. Yangınlar, 2009'da 180 kişinin ölümüne neden olan, Avustralya'daki "Kara Cumartesi" orman yangınlarının ardından, 21. yüzyılın en ölümcül orman yangını olayıdır. Ayrıca, son yüzyılın en ölümcül 6. yangınıdır. 4.000'den fazla kişi orman yangınlarından etkilenmiştir. Mayıs 2019 verilerine göre toplamda 102 kişinin ölümüne neden olmuştur (Kitsantonis vd., 2018).

23 Temmuz 2018'de, Doğu Avrupa saatiyle 13: 00'de, Atina'nın batısındaki Kineta yakınlarında bir orman yangını başladı. Birkaç saat sonra, Atina'nın kuzeyinde, Penteli yakınlarında ikinci bir orman yangını daha başladı. Bölgedeki çok kuvvetli rüzgâr hamleleri (124 km / saat, 77 mil, 12 Bofor) nedeniyle, her iki orman yangını da hızlı bir şekilde yayıldı. Kineta'daki yangın bölgedeki evleri yakarken, Penteli'deki yangın sahile doğru yöneldi ve Neos Voutza, Mati ve Kokkino Limanaki'nin bir kısmını yakmaya başladı. Şekil 2 ve Şekil 3, yangınların lokasyonunu harita üzerinde göstermektedir (Kitsantonis vd., 2018).

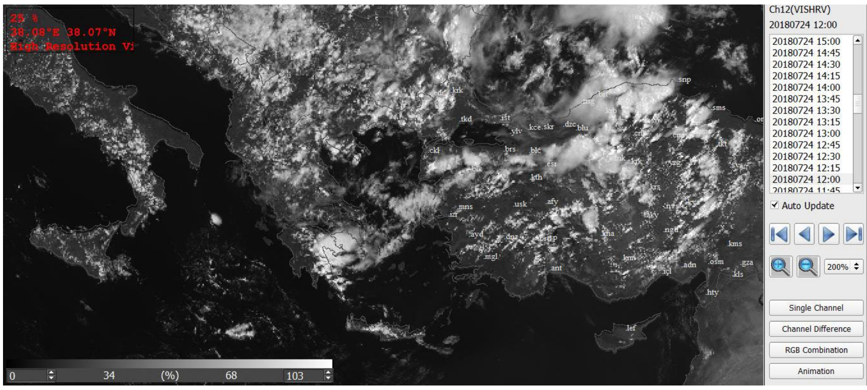
Şekil 2. Yunanistan yangın bölgesinin haritadan görünümü [32].



Şekil 3. 23 Temmuz 2018'de Attica'da başlayan iki ana yangın [32].

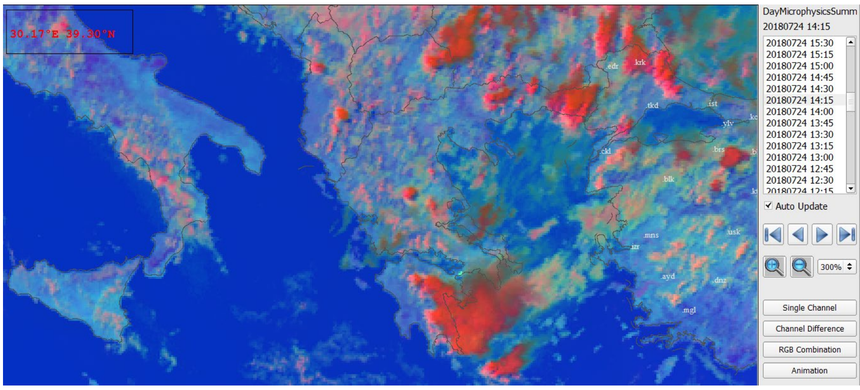
TMetVis Programından Yunanistan Yangınının Görüntülenmesi

Bulutluluk, uydudan yangın tespitinde en büyük engeldir. Yangın analizinde öncelikle bulutluluğa bakılması gereklidir. Detaylı bulut yapısı görüntüsü veren yüksek çözünürlüklü görünür kanal olan Kanal 12'de görüldüğü üzere, yangının ikinci gününde, Yunanistan gün boyunca bulutludur (Şekil 4). Ancak bu bulutlar parçalıdır ve gün içinde anlık da olsa bulutun cinsine göre yangının görülebilme ihtimali vardır.



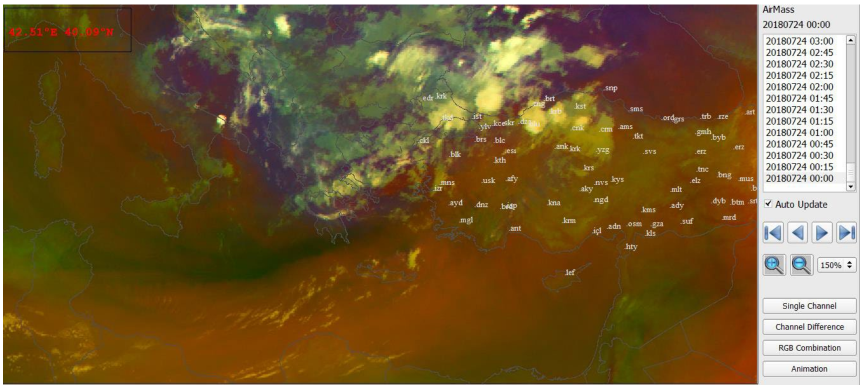
Şekil 4. TmetVis programında 24.07.2018- 12.00 GMT tarihli Kanal 12 görüntüsü.

Şekil 5, Gündüz bulut mikrofiziği RGB kombinasyonunu göstermektedir. 14.15 GMT'ye kadar yangın bölgesinde etkili olan, pembe renkle temsil edilmiş, büyük kristal yapılı kalın konvektif bulutlar, öğleden sonra etkisini kaybetmektedir. Bu saatten itibaren yangın analizine uygun koşullar sağlanmaktadır.



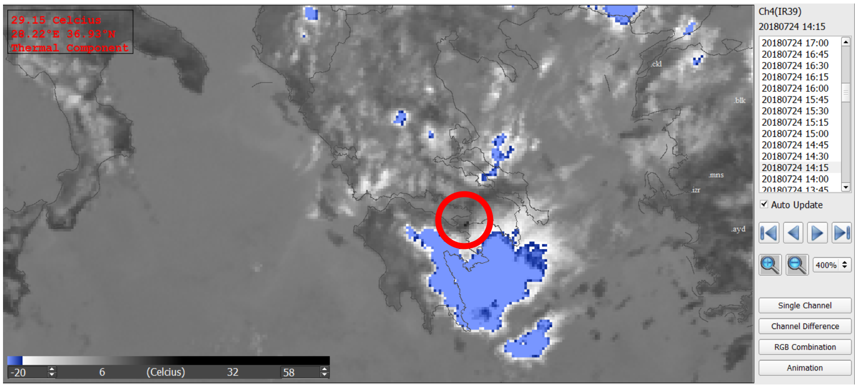
Şekil 5. TmetVis programında 24.07.2018- 14.15 GMT tarihli RGB Gündüz Bulut Mikrofiziği görüntüsü.

RGB Hava Kütlesi kompozitinde sıcak ve soğuk hava kütleleriyle birlikte adveksiyon jetleri de görülebilmektedir. Yangının ikinci gününde, günün ilk saatlerinde (Şekil 6), Yunanistan'ın güney bölümü sıcak hava kütlesinin etkisindedir. Sistemin batıdan doğuya doğru ilerlediği düşünülürse, yangının başladığı bir önceki gün, Yunanistan'ın büyük bir kısmının sıcak hava dalgası etkisinde olduğu söylenebilir.

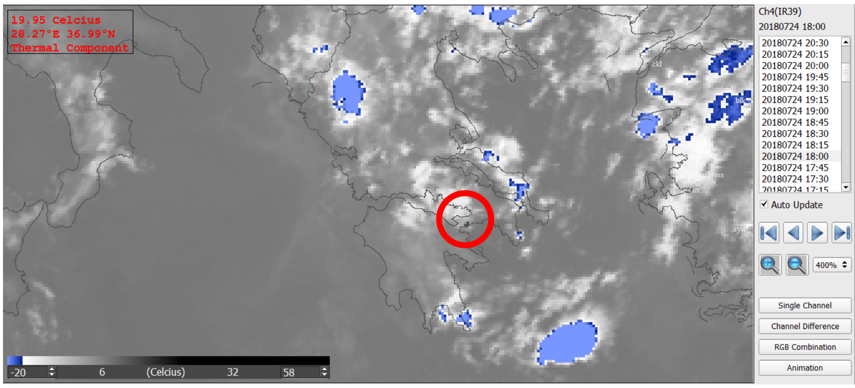


Şekil 6. TmetVis programında 24.07.2018- 00.00 GMT tarihli RGB Hava Kütlesi görüntüsü.

Yangın gibi sıcak noktalara duyarlı olan IR 3,9 µm spektral banda karşılık gelen kanal 4'tür. Yangının ikinci günü için kanal 4'te renk zıtlığının daha belirgin olabilmesi için sıcaklık renk skalası değerleri yeniden düzenlenmiştir. Sabah saatlerinde konvektif bulutların etkisinden dolayı yangının yayımladığı termal radyasyon net bir şekilde alınamamıştır. Konvektif bulutların etkisini kaybetmesiyle yangın görüntüsü alınabilmeye başlanmıştır Yangın en net şekilde 18.00 GMT'te görülebilmektedir. Kanal 4'te renk tonu yeryüzü tarafından yayımlanan termal radyasyonu (sıcaklık) temsil ettiğinden, siyah alanlar çevredeki alanlardan daha sıcak bir bölgeyi belirtmektedir. Şekil 7 ve 8'de görülen siyah nokta, Yunanistan'daki iki ana yangından batıda olanı temsil etmektedir. Bölge kırmızı çember içine alınmıştır. Doğu bölümdeki yangının görüntüsü tespit edilememiştir.

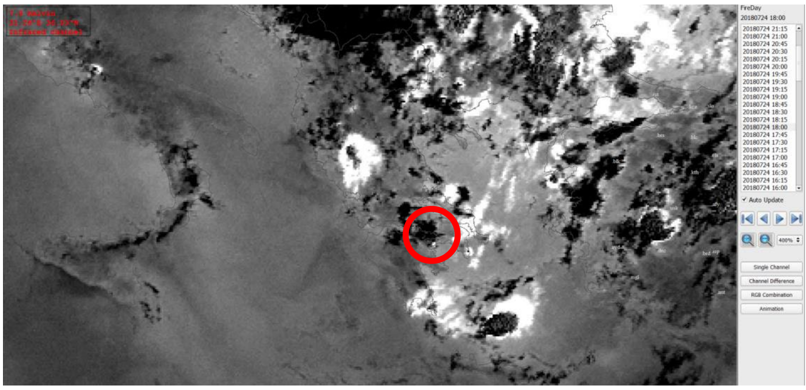


Şekil 7. TmetVis programında 24.07.2018- 14.15 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.



Şekil 8. TmetVis programında 24.07.2018- 18.00 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

Şekil 9, IR 3,9 – IR 10,8 kanal farkı görüntüsünü göstermektedir. Sıcaklık farkı ne kadar fazlaysa, o bölgede yangın olma olasılığı o kadar fazladır. Şekilde farkın fazla olduğu beyaz alan, Yunanistan yangınını göstermektedir ve kırmızı çember ile işaretlenmiştir.



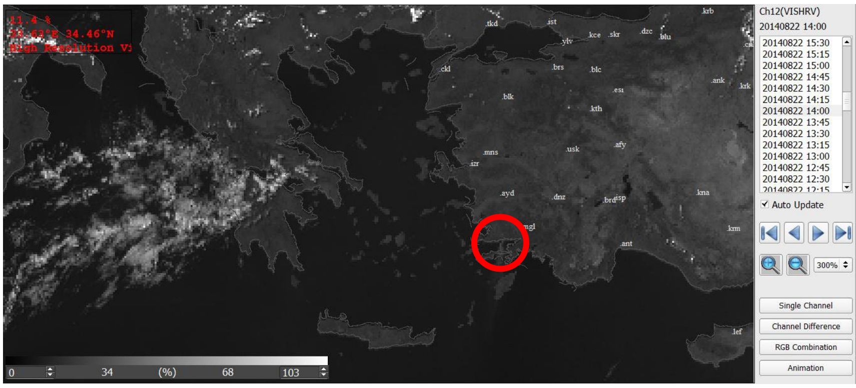
Şekil 9. TmetVis programında 24.07.2018- 18.00 GMT tarihli IR 3,9 – IR 10,8 kanal farkı görüntüsü.

22 Ağustos 2014 Muğla Yangını

2014 yılında Türkiye'de her biri 40 hektardan fazla alana zarar veren 24 yangın, bu yıl içinde toplamda 7190 hektar alanın yanmasına neden olmuştur. Bu zararın yarısı Ağustos ayı içinde Muğla'da yaşanan yangınlar nedeniyle oluşmuştur (Kara, 2014). Bu yangınlardan biri 1000 hektarlık alanı yok eden 22 Ağustos yangınıdır. Milas'ın Ören Mahallesi Fesleğen mevkiinde, 22 Ağustos 2014'te öğle saatlerinde başlayan orman yangınına karadan ve havadan müdahale edilmiştir. Şiddetli rüzgâr ve arazinin sarp olması söndürme çalışmalarını güçleştirmiştir (Kara, 2014). Yangın kuzey- güney aksında ilerlemiştir. Tarım arazilerinde zarara neden olan yangın, herhangi bir can ve mal kaybına neden olmamıştır (Web-3).

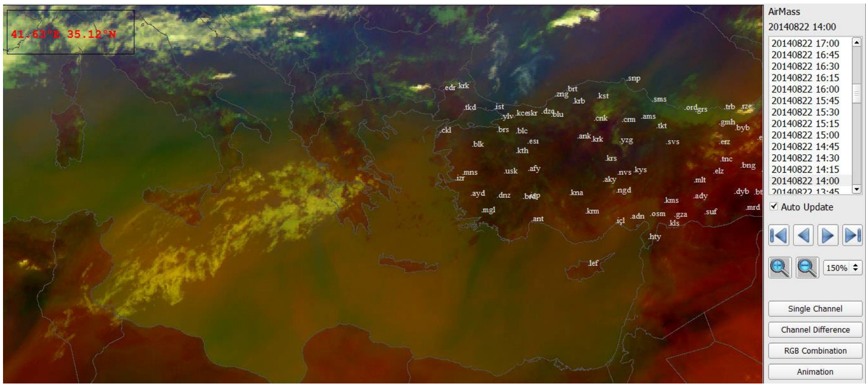
TMetVis Programından Muğla Yangınının Görüntülenmesi

Yangın görüntüsünün sağlıklı bir şekilde alınabilmesi için bulutluluğun minimum düzeyde olması gerekmektedir. Yüksek çözünürlüklü görünür kanal olan kanal 12'de görüldüğü üzere, 22 Ağustos 2014'te Türkiye'nin Ege ve Akdeniz bölgelerinde yangının görülmesini engelleyecek herhangi bir bulutluluk görülmemektedir (Şekil 10). Muğla Milas'ın güney tarafında görülen kuzey- güney doğrultusundaki ince, açık gri tabaka yangının dumanını temsil etmektedir. Bölge kırmızı daire ile belirtilmiştir.



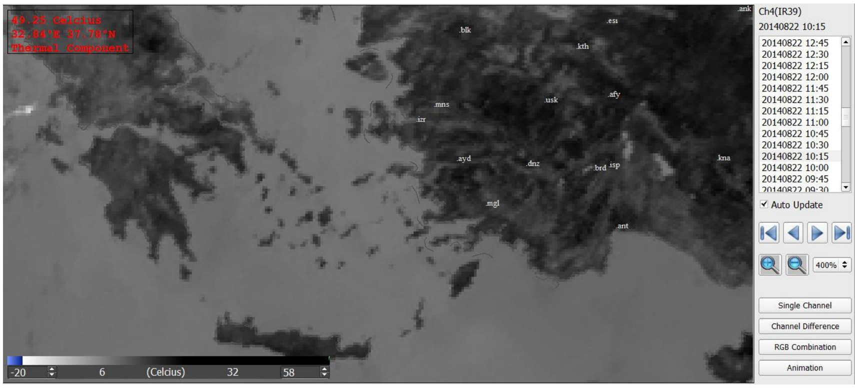
Şekil 10. TMetVis programında 22.08.2014- 14.00 GMT tarihli Kanal 12 görüntüsü.

RGB hava kütlesi kompozitine bakıldığında sıcak ve soğuk hava kütleleriyle birlikte adveksiyon jetler de görülebilmektedir. Yangın günündeki görüntüde turuncu ve yeşil alana bakılarak, Türkiye'nin sıcak hava dalgası etkisinde olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda, yangın oluşumu tetiklenecektir (Şekil 11).



Şekil 11. TMetVis programında 22.08.2014- 14.00 GMT tarihli RGB Air Mass görüntüsü.

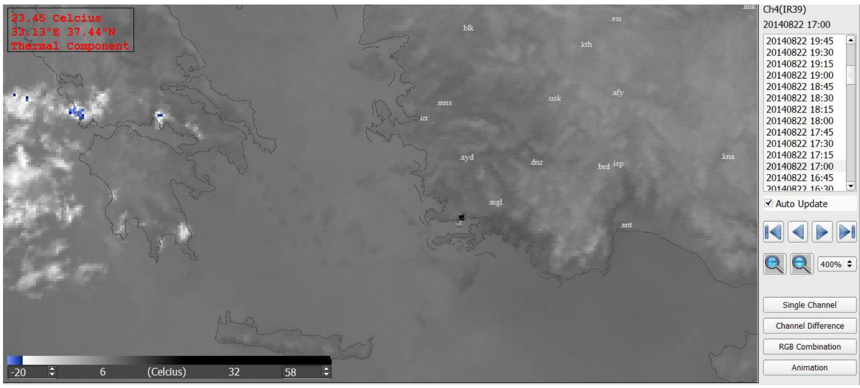
Yangın tespiti için kullanılan kanal, sıcak noktalara duyarlı olan kanal 4 (IR 3,9)'tür. Kanal 4'te renk tonu yeryüzü tarafından yayımlanan termal radyasyonu (sıcaklık) temsil ettiğinden, siyah alanlar çevredeki alanlardan daha sıcak bir bölgeyi belirtmektedir. 22 Ağustos 2014 günü Muğla bölgesi incelendiğinde 10.15 GMT'de yangın görülmezken, 10.30 GMT'de yangın noktası net bir şekilde görülmektedir (Şekil 12 ve Şekil 13). Yangın 22 Ağustos günü, bu saatler arasında başlamıştır. Yangın bölgesi kırmızı daire ile belirtilmiştir.



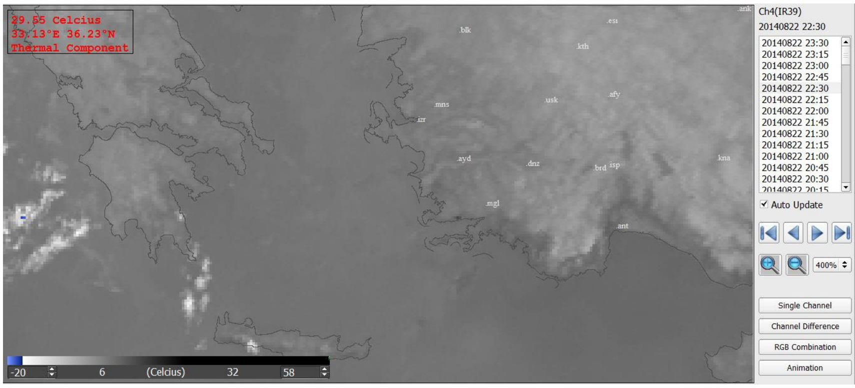
Şekil 12. TMetVis programında 22.08.2014- 10.15 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

Şekil 13. TMetVis programında 22.08.2014- 10.30 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

Yangın gün boyu devam etmiştir. 17 GMT'den sonra şiddetini kaybetmiştir. Şekil 14 ve Şekil 15, iki farklı saatte yangının kanal 4'teki termal ışımasını (siyah nokta) ve aradaki farkı net bir şekilde göstermektedir.

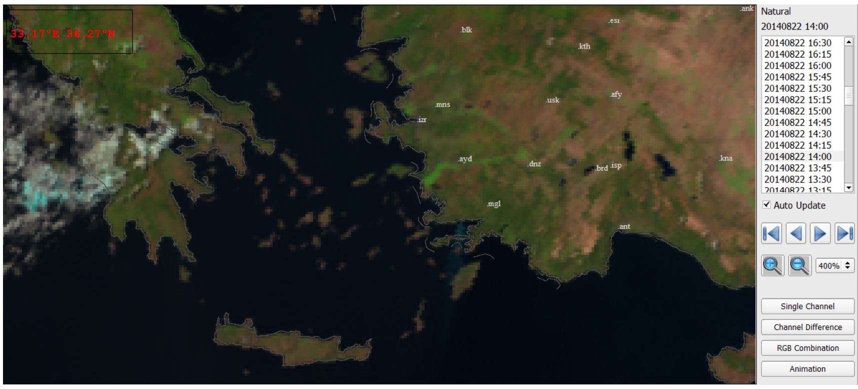


Şekil 14. TMetVis programında 22.08.2014- 17.00 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.



Şekil 15. TMetVis programında 22.08.2014- 22.30 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

Yangın, Doğal RGB kombinasyonu ile de görülebilir. Bu uygulama ile aynı zamanda yeryüzünün fiziki yapısı hakkında fikir edinilebilir. Şekil 16'da, Doğal kompozitinde yangın bölgesi ısınmadan dolayı kırmızı görünmektedir. Ayrıca güney yönlü ilerleyen duman da net bir şekilde görülebilmektedir. Yangının dumanı kilometrelerce ilerlemiştir. Bu kompozit sadece gündüz uygulanabildiğinden akşam saatlerinde görüntü alınamamıştır.

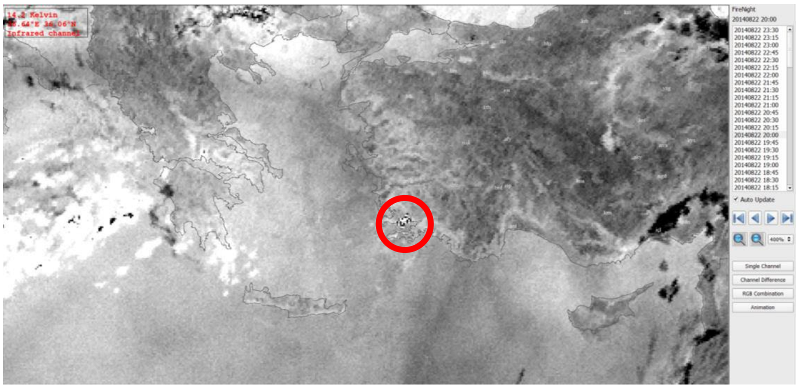


Şekil 16. TMetVis programında 22.08.2014- 14.00 GMT tarihli RGB Doğal görüntüsü. Muğla- Milas kırmızı daire ile belirtilmiştir.

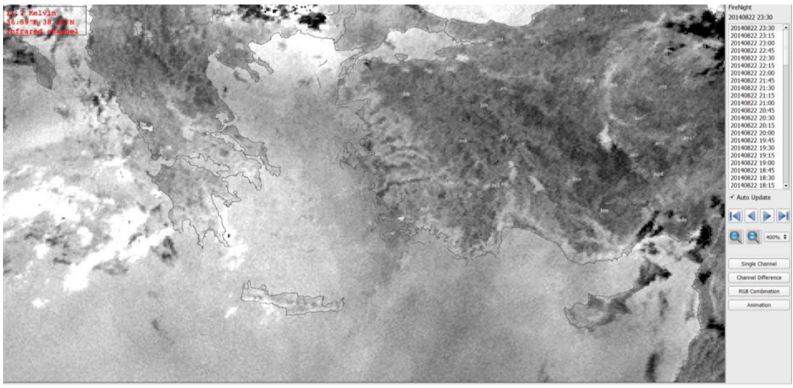
Gündüz Mikrofiziği RGB kombinasyonu yangın bölgesini cyan renginde görüntülemektedir. Ancak bu uygulama gece uygulandığında fark çok daha belirgin olmaktadır. Şekil 17'de cyan renkli bölgenin büyüklüğü, yangının akşam saatlerinde ne boyutta bir alana yayıldığı hakkında fikir vermektedir.

Şekil 17. TMetVis programında 22.08.2014- 20.30 GMT tarihli RGB Gündüz Mikrofiziği görüntüsü. Muğla- Milas kırmızı daire ile belirtilmiştir.

IR 3,9 – IR 10,8 kanal farkı uygulandığında, sıcak alanlar beyaz renkte görülebilir. Şekil 18'de 20.00 GMT'de yangının yayıldığı alan beyaz nokta şeklinde görüntülenebilmiştir. Şekil 19'da ise yangın daha küçük bir beyaz nokta halinde görüntülenerek, yangının 23.30 GMT'de kontrol altına alındığını göstermektedir.



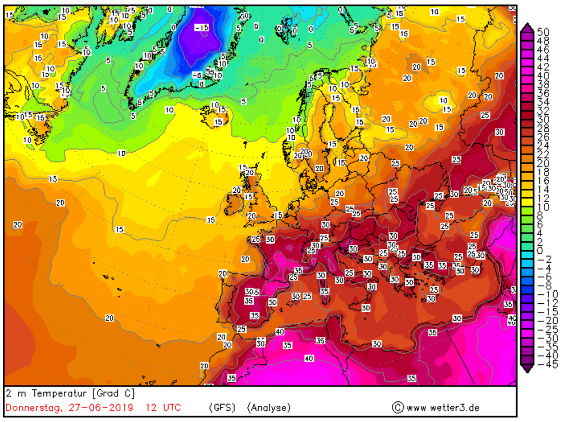
Şekil 18. TMetVis programında 22.08.2014- 20.00 GMT tarihli IR 3,9-IR 10,8 kanal farkı görüntüsü.



Şekil 19. TMetVis programında 22.08.2014- 23.30 GMT tarihli IR 3,9-IR 10,8 kanal farkı görüntüsü.

27 Haziran 2019 İspanya Yangını

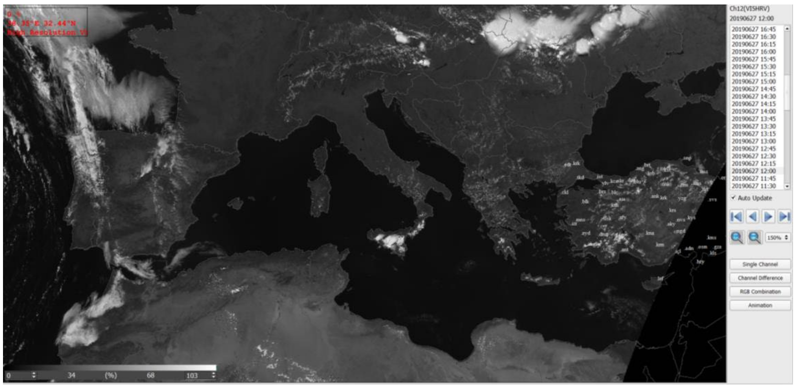
2019 Haziran ayında Avrupa sıcak hava dalgasının etkisiyle Kuzey İspanya ve Güney Fransa'da sıcaklıklar 40°C'nin üzerine çıkmıştır. İspanya'nın Tarragona mevkiinde, 27 Haziran 2019 tarihinde son 20 yılın en büyük orman yangını başlamıştır. 500'den fazla itfaiye görevlisi ve askerler, hava ve karadan yangını kontrol altına almaya çalışmıştır. 53 kişi evinden tahliye olmuş, 5 kara yolu kapanmıştır. 72 yaşında bir kişi ve yüzlerce koyun duman ve alevler nedeniyle hayatını kaybetmiştir (Henley & Jones,2019). Fransız ulusal hava otoritesi Météo-France, ülkenin güneyindeki dört bölge için "kırmızı seviye" uyarısı yayınlamıştır ve bu alarm seviyesi ilk kez bir sıcak hava dalgası için kullanılmıştır (Kottasova, 2019). Yangın 6000 hektar ormanlık alanı yok etmiştir (Barroso, 2019). Şekil 20, yangının başladığı günün yer seviyesi sıcaklık değerlerini °C cinsinden göstermektedir (Wetter3, 2019). Şekilden de görüldüğü üzere, Tarragona'yı da içinde barındıran kuzeydoğu İspanya ve güney Fransa'da yer seviyesi sıcaklıkları 40°C civarındadır ve yangın oluşumuna elverişlidir.



Şekil 20. 27.06.2019- 12 GMT'de Avrupa'da yer seviyesi hava sıcaklıkları (°C) (Wetter3, 2019).

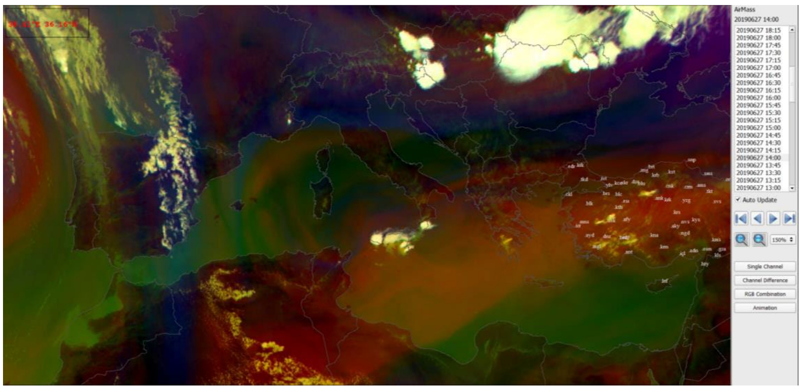
TMetVis Programından İspanya Yangınının Görüntülenmesi

Yangının görüntülenebilmesi için öncelikle bulutluluğa bakılmalıdır. Yüksek çözünürlüklü görünür kanal olan kanal 12'de görüldüğü üzere, 27.06.2019'da İspanya'nın batı ve iç kesimlerinde bulutluluk varken, yangının meydana geldiği Tarragona bölgesinde (Kuzey doğu) gündüz saatlerinde hava açıktır (Şekil 21). Ancak 20.00 GMT'den sonra, batıdaki bulutların kuzey doğuya hareketi sonucunda yangın bölgesinde kapalılık artmaktadır. Bu nedenle bu saatten sonra yangın analizi yapmak mümkün değildir.



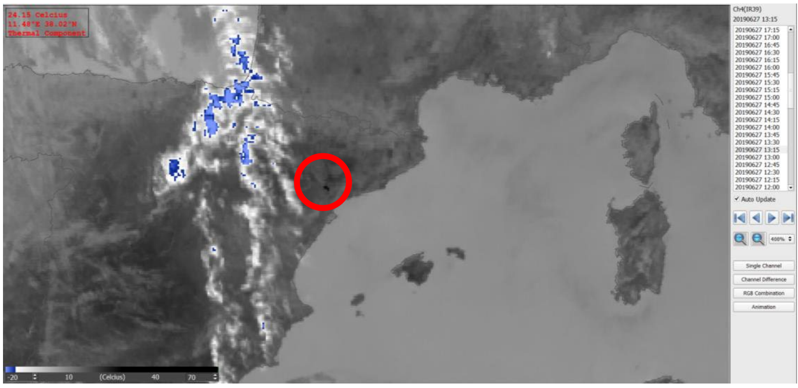
Şekil 21. TmetVis programında 27.06.2019- 12.00 GMT tarihli Kanal 12 görüntüsü.

RGB Hava Kütlesi kompozitine bakıldığında yangın gününde İspanya'nın iç kesimlerinde soğuk hava kütlesi, batı ve yangın bölgesinin de yer aldığı kuzey doğu kısımlarında sıcak hava kütlesinin etkili olduğu görülmektedir (Şekil 22).



Şekil 22. TmetVis programında 27.06.2019- 14.00 GMT tarihli RGB Hava Kütlesi görüntüsü.

Sıcak noktalara duyarlı olan kanal 4 (IR 3,9)'e göre, siyah alanlar çevredeki alanlardan daha sıcak bir bölgeyi belirtmektedir. Yangın noktasının ışıma sıcaklığı, 7.45 GMT'den itibaren çevre sıcaklığından daha yüksektir. 08.30 GMT'de 50,43 °C'ye ulaşmıştır. En yüksek ışıma sıcaklığı olan 65,15 °C'yi 13.15 GMT'de yayımlamıştır (Şekil 23).



Şekil 23. TmetVis programında 27.06.2019- 13.15 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

RGB Doğal kompoziti ile yangın ve fiziki yapı gerçek renklerinde görüntülenebilmektedir. 15.00 GMT'de parlak kırmızı piksel ve çevresindeki koyu kırmızı pikseller yangın bölgesini göstermektedir (Şekil 24). Bu sayede yangının koordinatları net bir şekilde belirlenebilir. Yangın 0.64 ° doğu boylamı, 41.29 ° kuzey enleminde başlamış ve aynı boylamda 41.36 ° kuzey enlemine kadar ilerlemiştir. Buradan yangının kuzeye yöneldiğini anlamak mümkündür.

Şekil 24. TmetVis programında 27.06.2019- 15.00 GMT tarihli RGB Doğal görüntüsü.

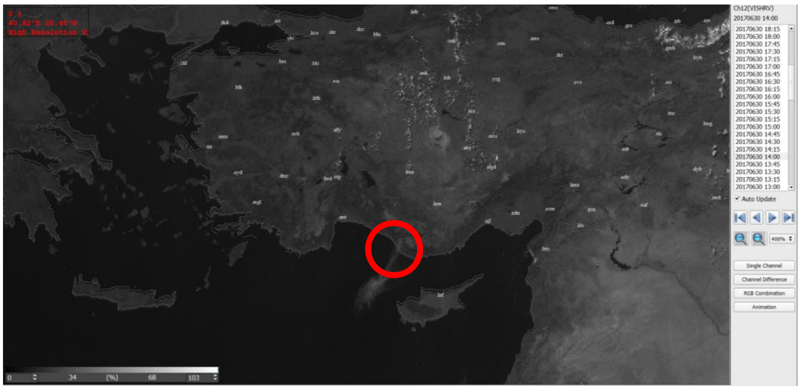
30 Haziran 2017 Antalya Yangını

30 Haziran 2017'de, saat 10.00 sıralarında Antalya'nın Alanya ilçesindeki Sapadere Kanyonu yakınlarındaki ormanlık alanda yangın başlamıştır. Sıcak hava dalgası ve rüzgâr nedeniyle büyüyen yangına, karadan ve havadan söndürme çalışmalarıyla müdahale edilmiştir. 5 ev tamamen yanmış, 15 ev yangından zarar görmüştür. Yangında 500 hektar alan yok olmuştur (Web-4).

Aynı gün Adıyaman'da sabah saatlerinde anızlık alanda çıkan yangın, 15 bin dönümlük alana yayılmıştır. 12 köyün etrafını saran yangın, 12 saatten uzun bir süre söndürülememiştir (Web-5). Bu yangın, TMetVis programında da görüntülenmiştir.

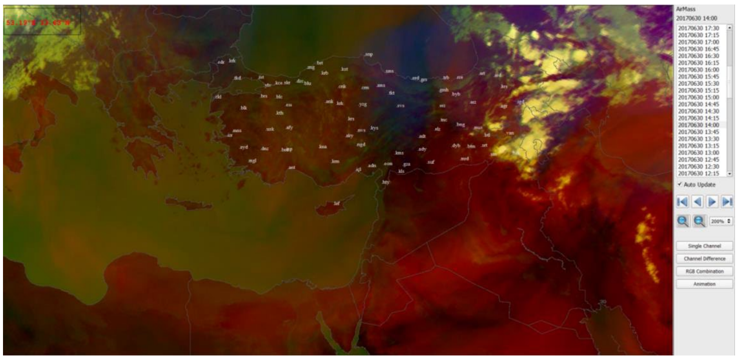
TMetVis Programından Antalya Yangınının Görüntülenmesi

Yangını net bir şekilde görebilmek ve analizini doğru yapabilmek için öncelikle bulutluluğa bakılmalıdır. 30 Haziran 2017 tarihinde Türkiye'nin güneyinde hava açıktır ve yangın tespiti için herhangi bir engel oluşmamaktadır. Şekil 25, 14.00 GMT'de kanal 12 görüntüsünü göstermektedir. Kırmızı çember ile belirtilmiş alan Antalya'nın Alanya ilçesinde yangının oluştuğu noktadır. Yangın noktasından güney batı yönüne doğru uzanan açık gri görüntü, yangının dumanını temsil etmektedir.



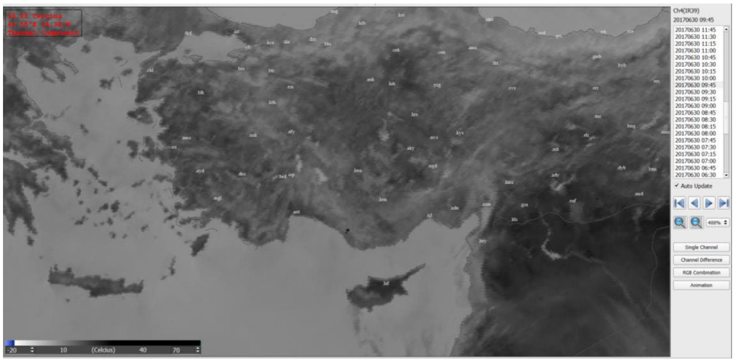
Şekil 25. TmetVis programında 30.06.2017- 14.00 GMT tarihli Kanal 12 görüntüsü.

Şekil 26, 30.06.2017- 14.00 GMT'de RGB hava kütlesi kompozitini göstermektedir. Yeşil renk Türkiye'nin yarısından fazlasını kapsamaktadır. Doğu Karadeniz soğuk hava dalgasının etkisindeyken, Türkiye'nin batısı ve Güneydoğu Anadolu bölgesi sıcak hava dalgasının etkisindedir. Bu durum, bu bölgelerde yangın riskini artırmaktadır.

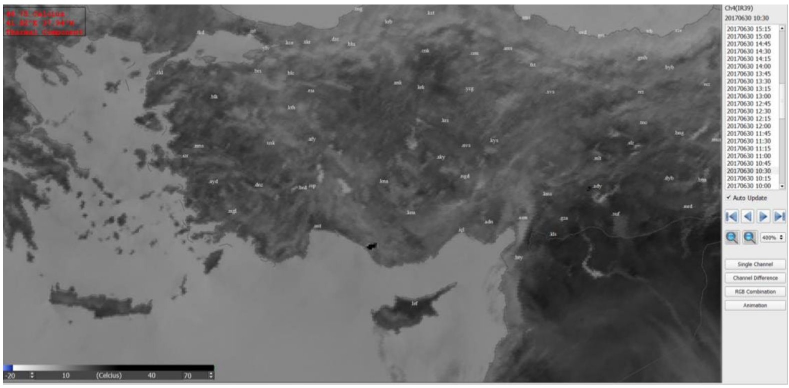


Şekil 26. TmetVis programında 30.06.2017- 14.00 GMT tarihli RGB Hava Kütlesi görüntüsü.

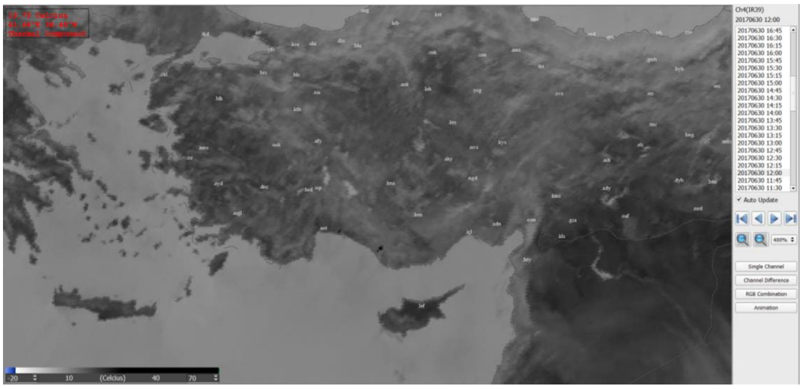
MSG uydusunun mekânsal çözünürlüğü 3 x 3 km2'dir. Yangın gibi sıcak noktaları siyah renkle temsil eden kanal 4'e bakıldığında, yangın pikselin büyük bir kısmını kapsadığında piksel, daha yüksek ışıma sıcaklığından dolayı, siyah renk görülür. Yangının 9.45 GMT'de uydudan tespit edilebilecek boyuta ulaştığı açıkça görülmektedir (Şekil 27). 45 dakika sonraki görüntüde, yangının 11 piksel büyüklüğünde bir alana yayıldığı görülmektedir. Ayrıca aynı şekilde yangının güney batı yönüne ilerlediği görülmektedir (Şekil 28). Şekil 29'a göre 12 GMT'de Antalya'da ikinci bir yangın başlamıştır ve 2 piksellik alana yayılmıştır. İleriki saatlerde bu yangının büyümediği görüldüğünden, kontrol altına alınarak söndürüldüğü çıkarımında bulunulabilir. Şekil 29'da aynı zamanda Alanya yangınının şiddetinin azaldığı, 5 piksel boyutunda bir alana kadar küçüklüğü gözlemlenebilir. 15 dakikada bir görüntü alan MSG uydusu, bu yönüyle yangının her aşamasını kontrol etmek açısından faydalı olmaktadır.



Şekil 27. TmetVis programında 30.06.2017- 09.45 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

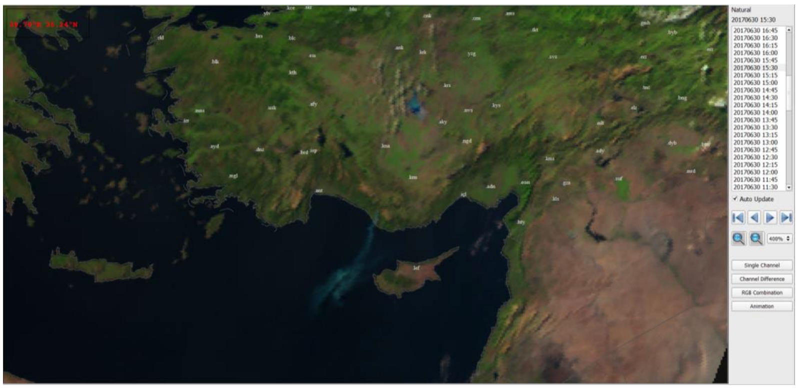


Şekil 28. TmetVis programında 30.06.2017- 10.30 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.



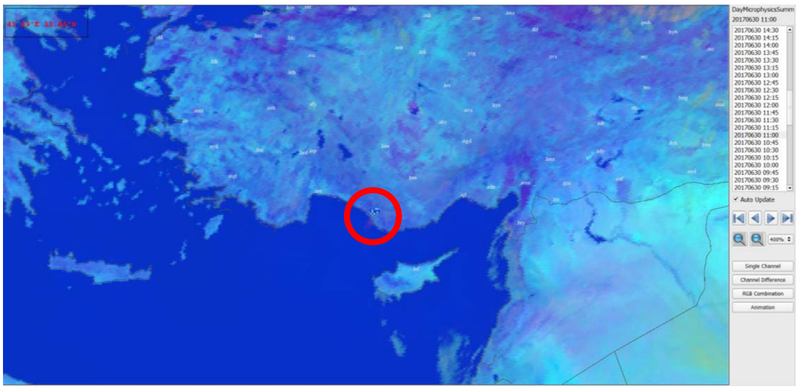
Şekil 29. TmetVis programında 30.06.2017- 12.00 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

RGB Doğal kompoziti yeryüzünün fiziki yapısını, yangının dumanını, bazen de yangının kendisini gerçek renkleriyle göstermektedir. 15.30 GMT'de RGB Doğal görüntüsüne bakıldığında, yangının başladığı koordinat ve güney batı yönüne uzanan duman görülebilmektedir (Şekil 30).

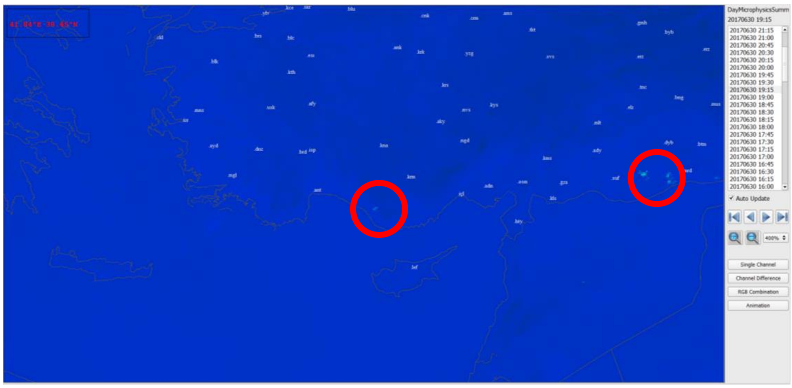


Şekil 30. TmetVis programında 30.06.2017- 15.30 GMT tarihli RGB Doğal görüntüsü.

Gündüz Mikrofiziği RGB kombinasyonu yangın bölgesini cyan renginde görüntülemektedir. Şekil 31'de Alanya yangını cyan ve giderek uzaklaşmakta olan duman pembe renklerde görülmektedir. Bu görüntüde ayrıca Adıyaman'daki bir yangın da görüntülenebilmiştir. Akşam saatlerinde Alanya yangınının şiddetini azalttığı görülürken, aynı görüntüde Güneydoğu Anadolu bölgesinde (Mardin civarı) de birden fazla yangın olduğu görülmektedir (Şekil 32). Sıcak hava dalgası, Türkiye'nin birçok yerinde yangınlara neden olmaktadır.

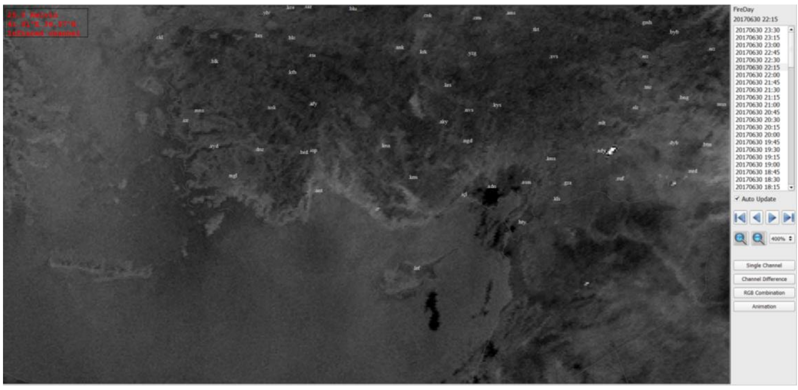


Şekil 31. TmetVis programında 30.06.2017- 11.00 GMT tarihli RGB Gündüz Mikrofiziği görüntüsü.



Şekil 32. TmetVis programında 30.06.2017- 19.15 GMT tarihli RGB Gündüz Mikrofiziği görüntüsü.

IR 3,9 – IR 10,8 kanal farkına bakıldığında, 22.15 GMT'de Alanya yangınının şiddetinin azaldığı görülürken, Adıyaman'daki yangının halen şiddetini koruduğu ve yangının 11 piksellik alana yayıldığı görülebilmektedir (Şekil 33). Aynı görüntüye bakarak, Mardin civarında görülen yangınların da boyutunun azaldığı ancak halen devam ettiği söylenebilir. Bunun dışında, beyaz noktalara bakıldığında aynı saatte Suriye'de başka bir yangın olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgede sık ve fazla yangın olmasının nedeni, RGB hava kütlesi kompozitinde görülen sıcak hava dalgasının etkisidir. Bu bölgede, yangın riski fazladır.



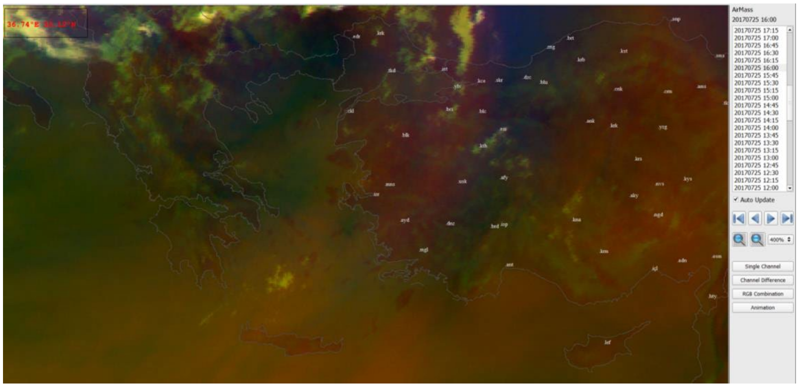
Şekil 33. TmetVis programında 30.06.2017- 22.15 GMT tarihli IR 3,9 – IR 10,8 kanal farkı görüntüsü.

25-26 Temmuz 2017 İzmir Yangını

İzmir, Bayındır'da 25.07.2017 tarihinde öğle saatlerinde yangın başlamıştır. 8 dozer, 15 su tankeri ve 35 arazöz ile müdahale edilmiştir. Çevre ilçelerden takviye ekiplerin de geldiği söndürme çalışmalarında, Manisa'dan gelen 1 dozerin devrildiği, ölen ya da yaralananın olmadığı açıklanmıştır. Yangın 26 Temmuz'a kadar kontrol altına alınamamıştır. Bayındır Belediye Başkanı Ufuk Sesli, orman yangınında 200-300 hektarlık alanın alevlerden etkilendiği söylemiştir (Web-6).

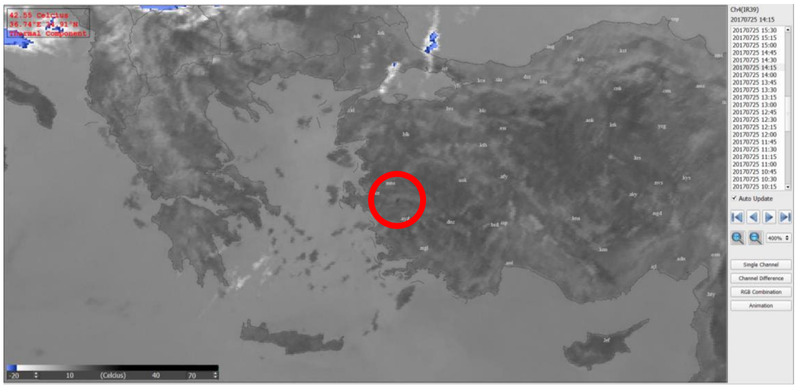
TMetVis Programından İzmir Yangınının Görüntülenmesi

Şekil 34, yangın günü için RGB Hava kütlesi kompozitini görüntülemektir. Günün ilk saatlerinde batıdan gelen soğuk hava kütlesi öğlene doğru İzmir üzerinden geçmiş ve doğuya ilerlemiştir. Öğleden sonra İzmir üzerinde sıcak hava kütlesi etkilidir.

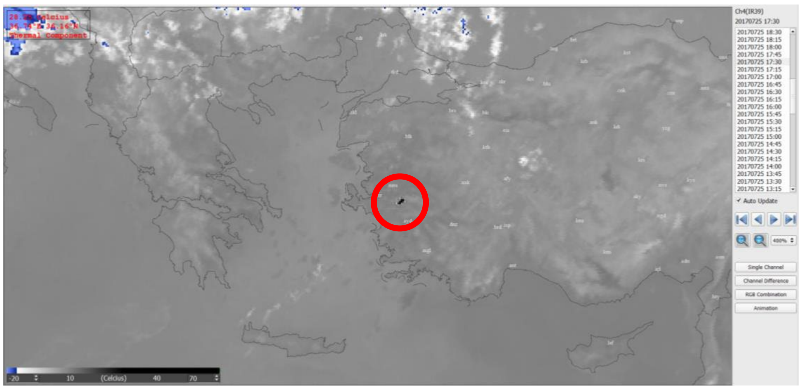


Şekil 34. TMetVis programında 25.07.2017- 16.00 GMT tarihli RGB Air Mass görüntüsü.

Yangın tespiti için kullanılan kanal, sıcak noktalara duyarlı olan kanal 4 (IR 3,9)'tür. Kanal 4'te renk tonu yeryüzü tarafından yayımlanan termal radyasyonu (sıcaklık) temsil ettiğinden, siyah alanlar çevredeki alanlardan daha sıcak bir bölgeyi belirtmektedir. İzmir yangını 25 Temmuz 2017'de 14.15 GMT'de başlamıştır (Şekil 35). Yangın 17.30 GMT'ye kadar büyümeye devam etmiştir (Şekil 36). Daha sonra şiddetini kaybederek gece yarısına kadar devam etmiştir.

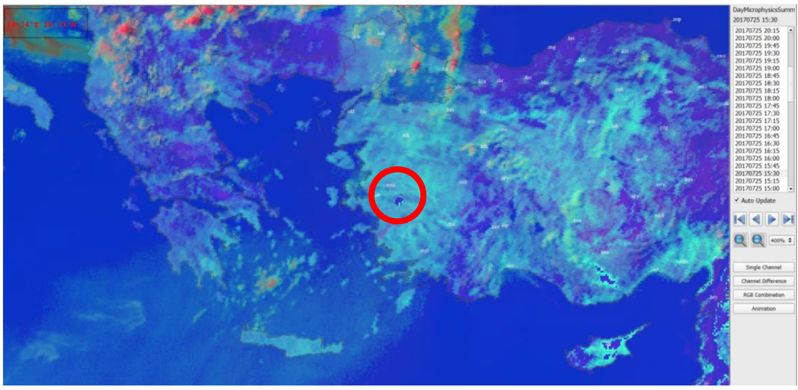


Şekil 35. TMetVis programında 25.07.2017- 14.15 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.



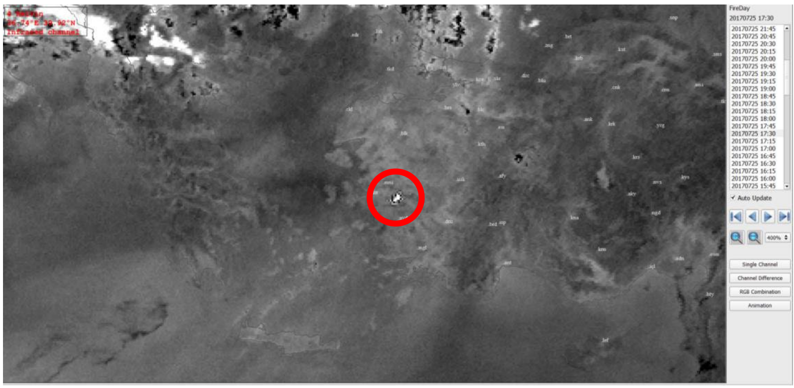
Şekil 36. TMetVis programında 25.07.2017- 17.30 GMT tarihli IR 3,9 (Kanal 4) görüntüsü.

Gündüz Mikrofiziği RGB kombinasyonu yangın bölgesini cyan renginde görüntülemektedir. Yangın 14.15'te ilk kez görüntülenebilmiştir. Şekil 37, 15.30 GMT'de şiddetini artıran yangını, cyan ile çevrili lacivert bölge ile temsil etmektedir.



Şekil 37. TMetVis programında 25.07.2017- 15.30 GMT tarihli RGB Gündüz Mikrofiziği görüntüsü.

IR 3,9 – IR 10,8 kanal farkı uygulandığında, sıcak alanlar beyaz renkte görülmektedir. Yangın kırmızı çember ile işaretlenmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. TMetVis programında 25.07.2017- 17.30 GMT tarihli IR 3,9-IR 10,8 kanal farkı görüntüsü.

NDVI Hesaplamaları

MSG uydusunun SEVIRI sensöründe yakın kızılötesi yansıtıcılık için 0,8 µm kanalı (Kanal 2) kullanılırken, kırmızı (görünür) yansıtıcılık değeri için 0,6 µm kanalı (Kanal 1) kullanılır.

Normalize Fark Bitki Örtüsü Endeksi formülü *Yunanistan* yangınının, yangın öncesi, yangın sonrası ve yangından bağımsız bir bölge için, farklı günlerin 15.45 GMT verilerine göre hesaplanmıştır. Yangın öncesi için 30.06.2017, yangın sonrası için ise 27.06.2019 tarihli veriler kullanılmıştır. Tablo 2'ye göre, Yunanistan yangınının yaşandığı bölgede, yangından 1 yıl önceki NDVI değeri, yangından 1 yıl sonraki NDVI değerinden yüksektir. Bu bölgede yangın, bitki örtüsünü büyük ölçüde yok etmiştir. Yangın günü, yangından bağımsız bir bölgede yapılan ölçümlere göre bitki örtüsü burada daha yoğundur.

Normalize Fark Bitki Örtüsü Endeksi formülü *Muğla* yangınının, yangın öncesi, yangın sonrası ve yangından bağımsız bir bölge için, 22.08.2014-07.30 GMT (yangın öncesi) ve 30.06.2017-14 GMT (yangın sonrası) verilerine göre hesaplanmıştır. Tablo 2'ye göre, Muğla yangını öncesi NDVI değeri 1'e uzaktır. Bu bölgede yoğun bir ormanlık alandan çok, daha seyrek bir bitki örtüsü bulunmaktadır. Yangının yaşandığı bölgede, yangından yaklaşık 3 yıl sonra, NDVI değerinin yangın öncesi değere çok yakın olduğu görülmektedir. Yangın sonrası NDVI değeri beklenen değerden yüksektir. Burada 3 yıl içinde ağaçlandırma yapılmış olma ihtimali çok yüksektir. Bunun yanında, yangın yaşanmayan bir bölgede, nispeten yüksek NDVI değerine bakılarak bitki örtüsünün daha yoğun olduğu anlaşılmaktadır.

Normalize Fark Bitki Örtüsü Endeksi formülü *Antalya* yangınının, yangın öncesi, yangın sonrası ve yangından bağımsız bir bölge için farklı günlerde 15.30 ve 16.00 GMT için hesaplanmıştır. Tablo 2'ye göre, yangından 3 yıl önce yangın alanının NDVI değeri, yangından bir ay sonra yanmış alanın NDVI değerinden yüksektir. NDVI değerinin düşmesi yangının bitki örtüsünü azaltıcı etkisini net bir şekilde göstermektedir. 30 Haziran 2017'de yangın olmayan başka bir bölgede yapılan hesaplamalar sonucunda bölgede daha seyrek bir bitki örtüsü olduğu söylenebilir.

Normalize Fark Bitki Örtüsü Endeksi formülü *İzmir* yangınının, yangın öncesi, yangın sonrası ve yangından bağımsız bir bölge için, 25.07.2017-04.30 GMT (yangın öncesi) ve 24.07.2018-10.45 GMT (yangın sonrası) verilerine göre hesaplanmıştır. Tablo 2'ye göre, yangın öncesi seyrek bir ormanlık alan varken; yangından 1 yıl sonra daha yoğun bir ormanlık alan görülmektedir. Bunun nedeni bölgenin ağaçlandırılmış olmasıdır. Bununla birlikte, yangından bağımsız alan, Batı Karadeniz'den seçilmiş olup, NDVI değeri gür bir ormanı temsil etmektedir.

İspanya yangının, çalışma yapıldığı sırada çok yeni olmasından dolayı yangın sonrası görüntüleri mevcut değildir. Bu nedenle NDVI hesabı yapılmamıştır.

Tablo 2. Yangınlar için NDVI hesaplamaları

	Koordinatlar	Durumlar	0,8 µm Yansıtıcılık	0,6 µm Yansıtıcılık	NDVI
MUĞLA YANGINI (22 Ağustos 2014-10.30 GMT)	27.92° E- 37.03° N	Yangın öncesi (22.08.2014-07.30 GMT)	0,154	0,085	**0,2887**
	27.92° E- 37.03° N	Yangın sonrası (30.06.2017-14.00 GMT)	0,207	0,116	**0,2817**
	28.65° E- 37.08° N	Yangın olmayan bölge	0,241	0,107	**0,385**
ANTALYA YANGINI (30 Haziran 2017)	32.38° E- 36.48° N	Yangın öncesi (22.08.2014-15.30 GMT)	0,275	0,164	**0,252**
	32.38° E- 36.48° N	Yangın sonrası (25.07.2017- 16.00 GMT)	0,235	0,153	**0,211**
	30.80° E- 37.48° N	Yangın olmayan bölge (16.00 GMT)	0,178	0,128	**0,163**
İZMİR YANGINI (25-26 Temmuz 2017- 15.30 GMT)	27.81° E- 38.26° N	Yangın öncesi (25.07.2017- 04.30 GMT)	0,254	0,164	**0,2153**
	27.81° E- 38.26° N	Yangın sonrası (24.07.2018-10.45 GMT)	0,21	0,104	**0,337**
	31.70° E- 41.20° N	Yangın olmayan bölge	0,29	0,127	**0,3908**
YUNANİSTAN YANGINI (23-26 Temmuz 2018)	23.17° E- 37.96° N	Yangın öncesi (30.06.2017- 15.45 GMT)	0,172	0,104	**0,2463**
	23.17° E- 37.96° N	Yangın sonrası (27.06.2019- 15.45 GMT	0,166	0,116	**0,177**
	23.10° E- 38.40° N	Yangın olmayan bölge (24.07.2018 -15.45 GMT)	0,39	0,136	**0,4828**

Yangınların FIR Test Sonuçları

FIR ürünü testleri yapılırken Tablo 1'deki eşik değerleriyle karşılaştırmalar yapılarak sonuca varılmıştır. Siyah değerler eşik değerler, kırmızı değerler hesaplamalar sonucu ulaşılan değerlerdir.

Buna göre Yunanistan yangın noktasında IR 3,9 ve IR 3,9 – IR 10,8 farkı testleri olumlu sonuçlanmıştır. Bölgede gündüz (14.15 GMT) ve gece (18.00 GMT) yangın mevcuttur. Yangın olmayan noktada yapılan testlere göre, IR 3,9 testi yalnızca gece (18.00 GMT) ve IR 3,9 – IR 10,8 farkı testi hem gündüz hem de gece olumlu sonuçlanmıştır. Tüm testleri geçme koşulu arandığından bu bölgede gündüz potansiyel yangın riski olduğu söylenemez. Ancak gece kanal farkının büyük olmasından dolayı bu risk fazladır.

Muğla'daki yangın noktasında IR 3,9 ve IR 3,9 – IR 10,8 farkı testleri olumlu sonuçlanmıştır. Bölgede gündüz (14.00 GMT) ve gece (21.00 GMT) yangın mevcuttur. Yangın olmayan noktada yapılan testlere göre, hem IR 3,9 testi hem de IR 3,9 – IR 10,8 farkı testi olumlu sonuçlanmıştır. Bölge sıcak hava dalgası etkisindedir. Bu nedenle potansiyel yangın riski olduğu söylenebilir. Ancak eşik değerlere çok yakın olunduğundan bu risk düşüktür.

İspanya'daki yangın bölgesi için bulutluluktan dolayı gece değeri hesaplanamamıştır. Gündüz değerleri 13.15 GMT için hesaplanmıştır. Potansiyel yangın aranan yer için 21.30 GMT saatinin sıcaklık değerleri alınmıştır. Buna göre yangın noktasında IR 3,9 ve IR 3,9 – IR 10,8 farkı testleri gündüz için olumlu sonuçlanmıştır. Bölgede yangın mevcuttur. Yangın olmayan noktada IR 3,9 testi ve fark testi gündüz için olumsuz sonuçlanırken, gece bölgede düşük de olsa yangın riski mevcuttur.

Antalya yangınının çıktığı koordinatta IR 3,9 testi ve IR 3,9-IR 10,8 farkı testleri gündüz ve gece için olumlu sonuçlanmıştır. Gündüz için 12.00 GMT, gece için ise 23.30 GMT kullanılmıştır. Bölgede gece ve gündüz her iki saatte de yangın mevcuttur. Yangının olmadığı bir bölgede gündüz her iki test de geçilememiştir. Gündüz bölgede yangın potansiyeli yoktur. Gece ise iki test de olumludur ve yangın potansiyeli vardır. Şartlar uygun olduğunda bu bölgede yangın oluşabilir.

İzmir yangını için yapılan testler için, gündüz değerleri 15.30 GMT'de, gece değerleri 21.45 GMT'de ölçülmüştür. Buna göre, yangının bulunduğu koordinatta, gece ve gündüz iki test için de eşik değerler aşılmış, yangın olduğu kanıtlanmıştır. Öte yandan, yangından bağımsız bir lokasyonda yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucu değerler, bölgede yangın oluşma riskinin olmadığını göstermektedir.

Tablo 3. FIR test sonuçları

MUĞLA YANGINI	**Testler**	**Yangın (27.92° E- 37.03° N)**		**Potansiyel Yangın (28.65° E-37.08° N)**	
		Gündüz (K)	Gece (K)	Gündüz (K)	Gece (K)
	IR 3,9	>310 *339,4*	>290 *327*	>310 *315.9*	>290 *301*
	IR 10,8	*305,2*	*298,4*	*309,9*	*297,5*
	IR 3,9-IR10,8	>8 *34.2*	>0 *28,6*	>5 *6*	>-1 *3,5*
ANTALYA YANGINI	**Testler**	**Yangın (32.38° E- 36.48° N)**		**Potansiyel Yangın (30.80° E-37.48° N)**	
		Gündüz (K)	Gece (K)	Gündüz (K)	Gece (K)
	IR 3,9	>310 *341,9*	>290 *301,2*	>310 *299,6*	>290 *299,1*
	IR 10,8	*308,6*	*296,4*	*309,8*	*296,2*
	IR 3,9-IR10,8	>8 *33,3*	>0 *4,8*	>5 *-10,2*	>-1 *2,9*
İZMİR YANGINI	**Testler**	**Yangın (27.81° E- 38.26° N)**		**Potansiyel Yangın (31.70° E-41.20° N)**	
		Gündüz (K)	Gece (K)	Gündüz (K)	Gece (K)
	IR 3,9	>310 *340,96*	>290 *302*	>310 *301,8*	>290 *286,1*
	IR 10,8	*300,9*	*292,9*	*296,9*	*290,3*
	IR 3,9-IR10,8	>8 *40,06*	>0 *9,1*	>5 *4,9*	>-1 *-4,2*
YUNANİSTAN YANGINI	**Testler**	**Yangın (23.17° E- 37.96° N)**		**Potansiyel Yangın (23.10° E-38.40° N)**	
		Gündüz (K)	Gece (K)	Gündüz (K)	Gece (K)

	IR 3,9	>310 *322,1*	>290 *309,9*	>310 *297,9*	>290 *291,1*
	IR 10,8	*289*	*281,4*	*283,6*	*274,2*
	IR 3,9-IR10,8	>8 *33,1*	>0 *28,5*	>5 *14,3*	>-1 *16,9*
İSPANYA YANGINI	**Testler**	**Yangın (0.64° E- 41.29° N)**		**Potansiyel Yangın (4.90° W-42.06° N)**	
		Gündüz (K)	Gece (K)	Gündüz (K)	Gece (K)
	IR 3,9	>310 *339,3*	>290 -	>310 *290,3*	>290 *293,1*
	IR 10,8	*313*	-	*309,3*	*291.2*
	IR 3,9-IR10,8	>8 *26,3*	>0 -	>5 *-19*	>-1 *1,9*

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, TMetVis programı kullanılarak, SEVIRI sensörünün 12 kanalında, RGB uygulamalarında ve kanal farklarında görüntüler elde edilmiştir. Her bir yangın için ayrı ayrı değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Tüm yangınlar analizlerinde, kanal 4'te renk zıtlığının daha belirgin olabilmesi için sıcaklık renk skalası değerleri yeniden düzenlenmiştir. Skala aralığı daraltılarak bulutların mavi renk görülmesi sağlanmıştır. Bununla birlikte yangın noktası ve yeryüzü arasında da belirgin bir renk zıtlığı oluşmuştur. Böylece yangın daha net görülebilmiştir.

IR 3,9-IR 10,8 kanal farkında hem yangın hem de bulutlar beyaz renk görüldüğü için en iyi sonuç bulutsuz günlerde alınabilmektedir.

RGB Doğal görüntüsünde yangınların en büyük olduğu saatlerde yangın bölgesi kırmızı renkte görülebilmiştir. Bunun yanında duman, deniz üzerinde belirgin bir şekilde görülebilirken; kara üzerinde fark edilememektedir.

RGB Gündüz mikrofiziği görüntüsünde, bulut analizi sadece gündüz yapılabilirken; yangın noktaları hem gündüz hem de gece cyan renginde ayırt edilebilmektedir. Bu yönüyle çalışma boyunca yangın tespit ve izlenmesinde çok yararlı olmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, analiz noktasında bulutluluğun olmamasıdır.

Genel olarak NDVI değerleri, bir ormanlık alanın NDVI değerlerine göre düşük çıkmıştır. Bunun nedeni atmosferik düzeltme yapılmamış olması olabilir. Bu bağlamda NDVI değerleri, yangın öncesi ve yangın sonrası farkı ortaya koymak açısından daha faydalı olmuştur. Yangın sırasındaki NDVI değeri, bitki örtüsü yerine aktif alevlerin yansıtıcılığını gösterebileceğinden, bitki örtüsü hakkında yorum yapılamaz.

Bu çalışmada Normalize Yanma Şiddeti Endeksi kullanılamamıştır. Bunun nedeni formülde gereken dalga boyu aralığının MSG uydusunun SEVIRI sensöründe bulunmamasıdır. Bundan sonraki çalışmada, meteorolojik amaçlı ve Türkiye üzerinden 12 saatte bir görüntü kaydeden Suomi NPP ve NOAA 20 uydularındaki VIIRS sensörü ya da 2022 yılında aktif olacak MTG uydusu kullanılarak bu endeksin hesaplanması önerilmektedir.

Bu çalışmada sadece IR 3,9 ve IR 3,9-IR 10,8 kanal farkı testleri uygulanmıştır. Tüm yangınlar, aktif yangın için FIR testlerini sağlamıştır.

Gelecek çalışmalarda atmosferik düzeltmeler yapılarak ve FIR ürününün IR 3,9 standart sapma ve IR 10,8 standart sapma testleri de uygulanarak daha net sonuçlara ulaşılabilir. EUMETSAT web sitesi üzerinden SEVIRI kanallarından IR 3,9, IR 10,8, VIS 0,6 ve WV 6,2 kanal görüntülerine gerçek zamanlı erişilebilmektedir. RGB uygulamaları da gerçek zamanlı olarak görüntülenebilmektedir. Bununla birlikte aynı sitede FIR ürünüyle de gerçek zamanlı yangın olasılığı olan noktalar takip edilebilmektedir.

Çalışmada takip edilen yöntemler gerçek zamanlı olarak uygulanırsa; güncel yangınlar da tespit edilebilir ve yangınlara erken müdahale ile hasar azaltılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada verileri elde etmem ve TMetVis programında görüntüleyebilmem için verileri işleyen Sayın hocam Ahmet Öztopal'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca, TMetVis programının kullanımı konusunda verdiği bilgilerden ve yardımlarından dolayı Sayın Yük. Müh. Erdem Erdi'ye teşekkürlerimi sunarım.

REFERANSLAR

Barroso, F. J. (2019), *Wildfire in Madrid and Toledo razes 3,300 hectares.* <https://elpais.com/elpais/2019/07/01/inenglish/1561965809_317375.html>, 24 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Camia A., Bovio G., Aguado I., Stach N. (1999), *Meteorological fire danger indices and remote sensing.* In: Chuvieco E. (eds) Remote Sensing of Large Wildfires. Springer, Berlin, Heidelberg

de Rigo, Daniele & Caudullo, Giovanni & San-Miguel-Ayanz, J & Barredo, José. (2017), *Robust modelling of the impacts of climate change on the habitat suitability of forest tree species.* doi: 10.2760/296501.

Esemen, K. (2011), *Forest Fire Analysis Using Satellite Imagery*. M.Sc. Thesis. Institute of Informatics. Istanbul.

EUMETRAIN. (2012), *Chapter V: Remote fire detection. Forest Fires.* <http://www.eumetrain.org/data/3/30/print_5.htm>, 22 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

European Commission (2015), *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2014.* EUR – Scientific and Technical Research series. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Doi:10.2788/224527

European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites [EUMETSAT]. (2015), *Active Fire Monitoring: Product Guide*. < https://navigator.eumetsat.int/product/EO:EUM:DAT:MSG:FIR>, 21 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

GÖKTÜRK-2. (t.y.), *Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü*, https://uzay.tubitak.gov.tr/tr/uydu-uzay/gokturk-2 sitesinden alınmıştır.

Henley, J. ve Jones, S. (2019), *Spain battles biggest wildfires in 20 years as heatwave grips Europe.* <https://www.theguardian.com/world/2019/jun/27/hundreds-of-firefighters-tackle-blaze-in-north-east-spain>, 24 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Joro, S., Samain, O., Yildirim, A., Berg, L., Lutz, H. J. (t.y.), *Towards An Improved Active Fire Monitoring Product For MSG Satellites*, EUMETSAT, Darmstadt, Germany.

Kara, M. (2014), *Milas'ta Korkutan Yangın.* <https://www.haberler.com/milas-ta-korkutan-yangin-2-6405461-haberi/>, 23 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Kitsantonis, N., Perez-Pena, R. Ve Goldman, R. (2018), *In Greece, Wildfires Kill Dozens, Driving Some Into the Sea,* The New York Times, <https://www.nytimes.com/2018/07/24/world/europe/greece-fire-deaths.html>, 23 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Kottasova, I. (2019), *It's so hot in Spain that manure self-ignited, sparking a 10,000-acre wildfire.* <https://edition-m.cnn.com/2019/06/27/world/europe-heat-wave-spain-wildfire-intl/index.html?r=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F>, 24 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Landsat satellite missions. (2019), *USGS,* https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=2#qt-science_support_page_related_con sitesinden alınmıştır.

Lanorte A., Danese M., Lasaponara R., Murganate B. (2013), *Multiscale Mapping of Burn Area and Severity Using Multisensor Satellite Data and Spatial Autocorrelation Analysis*, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 20, 42–51.

Orman Genel Müdürlüğü. (t.y.), *Ormanlarımız ve Faydaları*. <https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/Yayinlar/Orman%C4%B1n%20Faydalar%C4%B1.pdf>, 09.07.2019 tarihinde erişilmiştir.

Pausas J.G. ve Vallejo V.R. (1999), *The role of fire in European Mediterranean ecosystems.* In: Chuvieco E. (eds) Remote Sensing of Large Wildfires. Springer, Berlin, Heidelberg

Sabuncu, A. ve Özener, H. (2019), *Uzaktan Algılama Teknikleri ile Yanmış Alanların Tespiti: İzmir Seferihisar Orman Yangını Örneği.* Doğal Afetler ve Çevre Dergisi , 5 (2) , 317-326 . DOI: 10.21324/dacd.511688

Tekeli, A. H., Sönmez, İ., Erdi, E., Arslan, M., Çukurçayır, M., Demir, F. (2007), *Orman Yangınlarının Uzaktan Algılama Teknikleri İle Tespit Çalışmaları*, TMMOB Afet Sempozyumu, Sy. 177-184.

Thome, K. (t.y.), *About Terra,* https://terra.nasa.gov/about sitesinden alınmıştır.

Wetter3 (2019), *Archiv-Version des Animationstools.* <http://www1.wetter3.de/Archiv/>, 24 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Web Siteleri:

Web-1: https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/, GisGeography, What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?, 22 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Web-2: https://gisgeography.com/atmospheric-correction/, GisGeography, What is Atmospheric Correction in Remote Sensing?, 22 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Web-3: https://www.trthaber.com/haber/turkiye/muglada-orman-yangini-141236.html, 23 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Web-4: http://www.hurriyet.com.tr/antalyada-2017-boyle-gecti-40692512, 24 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Web-5: http://www.milliyet.com.tr/adiyaman-daki-yangin-12-koyu-sardi-adiyaman-yerelhaber-2138374/, 24 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Web-6: https://www.sozcu.com.tr/2017/gundem/izmir-ve-denizlide-orman-yanginlari-1946541/, 27 Temmuz 2019 tarihinde erişilmiştir.

Obtaining Seasonal İstanbul Precipitation Patterns from Radar Data

[1]Emir YAPICI, [1]Ahmet ÖZTOPAL, [2]Murat ARSLAN

[1]İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer İstanbul
[2]Meteoroloji Genel Müdürlüğü
yapici@itu.edu.tr; oztopal@itu.edu.tr; muarslan@mgm.gov.tr

ABSTARCT

It is not possible to obtain the spatial information provided by the radar with the station networks established or to be established. Fort his reason, radar makes an important contribution to the studies of obtaining cloud or precipitation patterns in a particular region. In this direction, the aim of this study is to develop a parallel processing software called MeteoRadar for reading, analyzing, processing and displaying the hourly total precipitation (RN1) data obtained from the radar, and then to obtain the seasonal precipitation patterns in the coverage area of Istanbul radar for the 2015-2016 period. Therefore, in this paper total precipitation patterns of winter, spring and summer seasons were revealed by showing the precipitation pattern consistency of the MeteoRadar software for 3 different cases (dated 06/01/2016, 11/03/2016 and 30/08/2016).

***Keywords**:* İstanbul, meteorological radar, precipitation pattern, RN1.

Radar Verileri Üzerinden Mevsimlik İstanbul Yağış Desenlerinin Elde Edilmesi

ÖZET

Radarın sağladığı alansal bilgiyi, kurulu ya da kurulacak istasyon ağları ile elde edebilmek mümkün değildir. Dolayısıyla belirli bir bölgedeki bulut ya da yağış desenlerinin elde edilmesi çalışmalarına, radar önemli bir katkı sunmaktadır. Bu doğrultuda bu çalışmanın gayesi, öncelikle radardan elde edilen saatlik toplam yağış (RN1) verisinin okunması, çözümlenmesi, işlenmesi ve görüntülenmesi için MeteoRadar isimli paralel işlem yapabilen bir yazılımın geliştirilmesi ve akabinde de 2015-2016 dönemi için İstanbul radarının kapsama alanındaki mevsim temelli yağış desenlerinin elde edilmesidir. Dolayısıyla bu bildiride, 3 farklı (06/01/2016, 11/03/2016 ve 30/08/2016 tarihli) vaka için önce MeteoRadar yazılımının yağış desen tutarlılığı gösterilerek; kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerine ait toplam yağış desenleri ortaya konulmuştur.

***Anahtar Kelimeler**:* İstanbul, meteoroloji radarı, RN1, yağış deseni.

GİRİŞ

Herhangi bir meteorolojik değişkenin mevsimlik ya da yıllık desenlerinin elde edilmesi, incelenen bölgenin ikliminin anlaşılması açısından önem arz etmektedir. Yersel veriler üzerinden elde edilen meteorolojik desenler, yeterli sayıda istasyon olmaması ve var olanların da düzensiz dağılımları nedeniyle hatalar içermektedirler. Oysa uydu ve radar sistemlerinin, kapsama alanları içerisinde alan çözünürlükleri oranında her noktadan bilgi alabiliyor olmaları, daha doğru meteorolojik desenlerin elde edilmesini sağlamaktadır.

Bugün itibariyle ülkemizin havası 18 adet C band ve 2 adet X band radar yardımıyla an ve an takip edilmektedir. Bu sistemlerin kurulum zamanları farklı olsa da, ilk radarın faaliyete geçmesinden bu yana neredeyse 20 yıl geçti ve bu da radar kapsama sahalarında uzun yıllara ait alan ve zaman çözünürlüğü yüksek veriler demektir. Dolayısıyla, böylesine önemli veriler üzerinden yapılacak meteorolojik desen çalışmaları, incelenen alandaki iklim ve meteorolojik olayları daha iyi anlamamızı sağlayacaktır. Özellikle oluşturulacak yağış desenleri sayesinde, hangi alanların hangi dönemlerde tehlike altında olduğu bilgisi, gelecekte oluşabilecek afetlere karşı yeterli önlemlerin alınması noktasında çok değerlidir.

Bu alanda ülkemizdeki ilk araştırma Gürbüz tarafından gerçekleştirilmiştir [1]. İlgili çalışmada 2015 yılına ait İstanbul'a ait aylık yağış desenleri belirlenmiştir.

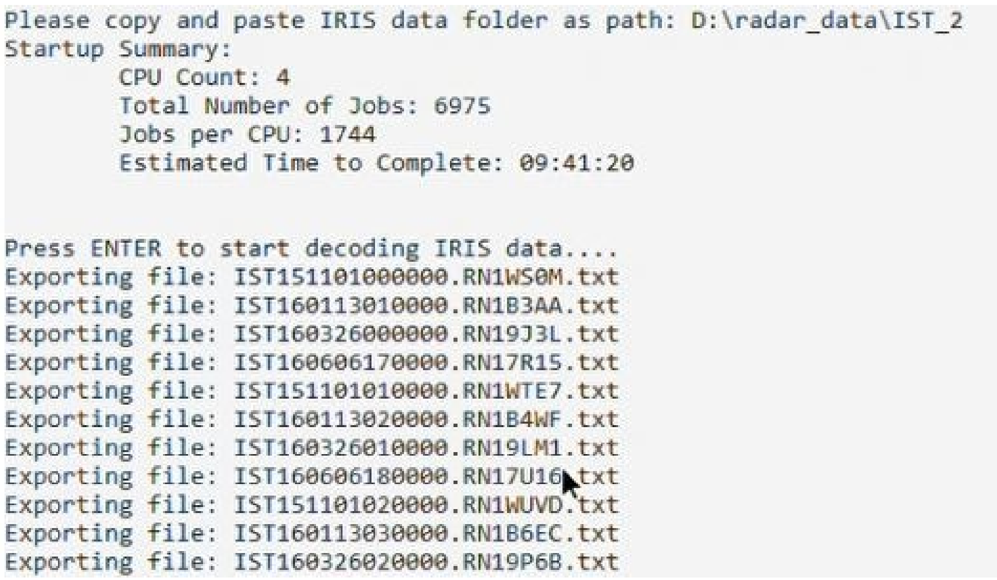
Bu bildiride, İstanbul radarına ait saatlik yağış (RN1) ürünü yardımıyla 2015-2016 dönemi kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinin yağış desenlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir ve bu doğrultuda da detayları aşağıda verilecek *MeteoRadar* isminde bir yazılım geliştirilmiştir.

ÇALIŞMA ALANI, VERİ VE MeteoRadar YAZILIMI

Bu bildiride çalışma alanı olarak, 17047 istasyon kodlu ve 41,3409°K ile 28,3568°D koordinatlarında bulunan İstanbul Radarı'nın 120 km'lik yarıçap dâhilindeki kapsama alanı seçilmiştir.

Veri olarak ise, Vaisala firması tarafından geliştirilen ve MGM tarafından operasyonel olarak kullanılan IRIS yazılımının ürettiği ve 2015-2016 dönemine ait 2 yıllık saatlik toplam yağış bilgilerini içeren RN1 ürünleri kullanılmıştır.

Diğer radar ürünlerinde olduğu gibi RN1 ürünü de, IRIS yazılımının özel formatında olması nedeniyle öncelikle verilerin okunması, çözümlenmesi (decoding), işlenmesi ve görüntülenmesi için *MeteoRadar* isminde ve Piton (Python) programlama dilinde paralel işlem yapabilen bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım, açık kaynak kodlu *wradlib* kütüphanesinden faydalanmaktadır [2]. Yazılım, elde edilen sonuçları istenen renk skalasında ve çözünürlükte *heatmap* grafiklerine [3, 4] aktarabilmektedir. Şekil 1, 2 ve 3, *MeteoRadar* programının çeşitli aşamalardaki ekran görüntülerini göstermektedir.



```
Please copy and paste IRIS data folder as path: D:\radar_data\IST_2
Startup Summary:
        CPU Count: 4
        Total Number of Jobs: 6975
        Jobs per CPU: 1744
        Estimated Time to Complete: 09:41:20


Press ENTER to start decoding IRIS data....
Exporting file: IST151101000000.RN1WS0M.txt
Exporting file: IST160113010000.RN1B3AA.txt
Exporting file: IST160326000000.RN19J3L.txt
Exporting file: IST160606170000.RN17R15.txt
Exporting file: IST151101010000.RN1WTE7.txt
Exporting file: IST160113020000.RN1B4WF.txt
Exporting file: IST160326010000.RN19LM1.txt
Exporting file: IST160606180000.RN17U16.txt
Exporting file: IST151101020000.RN1WUVD.txt
Exporting file: IST160113030000.RN1B6EC.txt
Exporting file: IST160326020000.RN19P6B.txt
```

Şekil 1. MeteoRadar yazılımının RN1 verisini çözümleme (decoding) işlemi sırasındaki ekran görüntüsü

```
Please copy and paste IRIS data folder as path: D:\radar_data\exports\2015
Please type running mode (1- Export, 2- Seasonal Merge, 3- Monthly Merge): 2
Seasonal Merge Job - Startup Summary:
        Total numbers of files to merge: 6372
        Parallel Processing is Active

Press ENTER to start merging seasonal data...

ID of process Process 0: 1728
ID of process Process 1: 9928
ID of process Process 2: 10068
ID of process Process 2: 14676
Exporting file: autumn_export.txt
Exporting file: winter_export.txt
Exporting file: summer_export.txt
Exporting file: spring_export.txt
Process 0 is alive?: False
Process 1 is alive?: False
Process 2 is alive?: False
Process 2 is alive?: False
Parallel Processing is done!
Press CLOSE to exit...
```

Şekil 2. MeteoRadar yazılımının mevsimsel yağış toplamını hesaplarken olan ekran görüntüsü

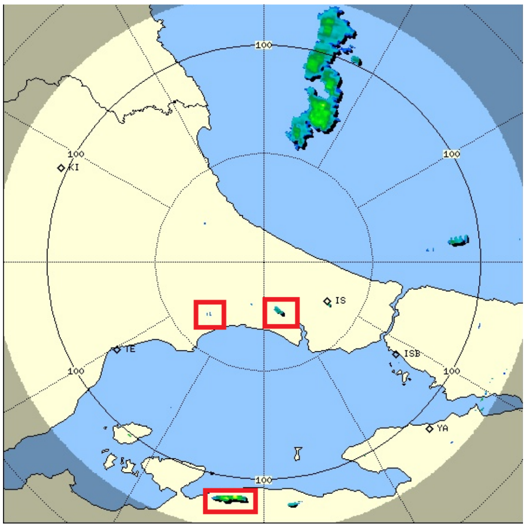
```
Please copy and paste IRIS data folder as path: D:\radar_data\exports\IST_2\2016
Please type running mode (1- Export, 2- Seasonal Merge, 3- Monthly Merge): 3
Press ENTER to start merging seasonal data...

Month 0 started for merging.
Month 1 started for merging.
Month 2 started for merging.
Month 3 started for merging.
```

Şekil 3. MeteoRadar yazılımının aylık yağış toplamını hesaplarken olan ekran görüntüsü

Çalışmada 1 yıl için yaklaşık 8640 adet saatlik, 120 km yarıçaplı, 33,333 cm/pixel çözünürlükte 720*720'lik RN1 verisi kullanılmıştır. Çözümlenmesi gereken veri miktarı yaklaşık olarak 4.478.976.000 adet gibi çok yüksek sayılara ulaştığı ve bu miktarda veriyi işlemek çok uzun süreceği için Parallel Processing yöntemi kullanılmıştır. Program, eklenen bu özellikle bilgisayardaki işlemci sayısını algılayıp verilmiş olan veri çözümleme veya birleştirme görevlerini işlemcilere eşit sayılarda aktararak işlem hızını kat ve kat arttırmaktadır. Programın çalışması sırasında *işlemci çekirdek sayısı X ~800 MB RAM*'e ihtiyaç duyulmaktadır.

Mevsimlik yağış desenlerinin oluşturulması sonrasında yapılan incelemede, radar verisindeki bazı piksellerin yılın her gün ve her saati yağış bilgisi içerdiği görülmüştür. Tespit edilen 4200 piksel karelik bu hatalı veri, 0 (sıfır)'a indirgenerek iptal edilmiştir. Şekil 4'ten hatalı veri alanları kırmızı kutucuklar olarak görülmektedir.

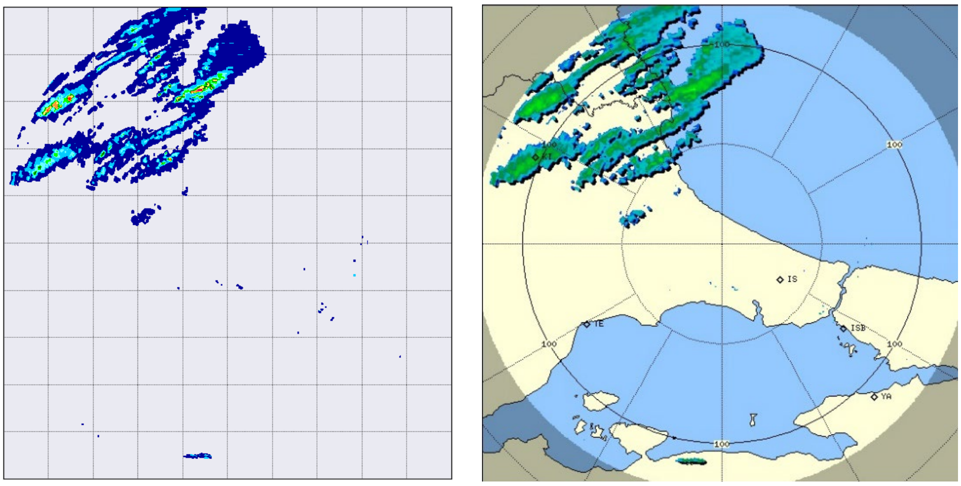


Şekil 4. Hatalı veri alanları.

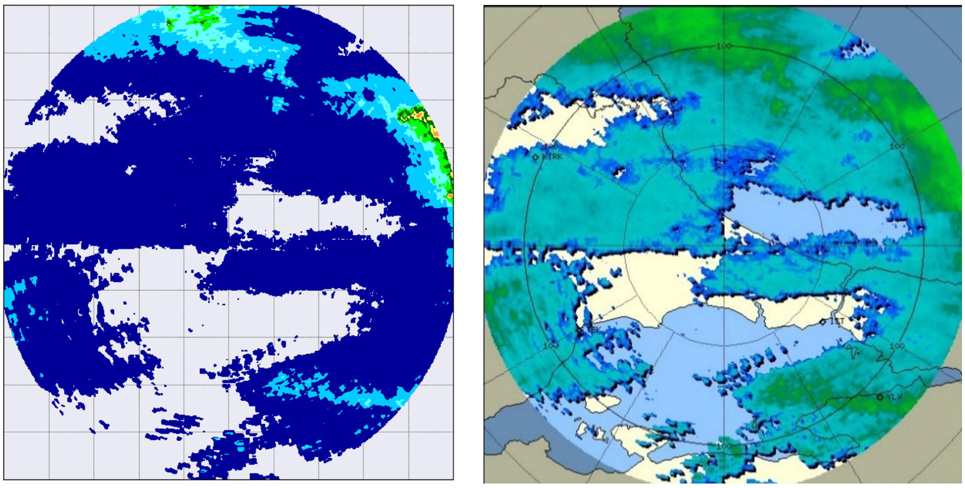
ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, ilk olarak kış, ilkbahar ve yazdan birer vaka üzerinde IRIS ile *MeteoRadar* çıktıları desen olarak karşılaştırılacak ve sonrasında da 2015 ile 2016 yıllarına ait kış, ilkbahar ve yaz mevsimlerinin yağış desenleri sunulacaktır.

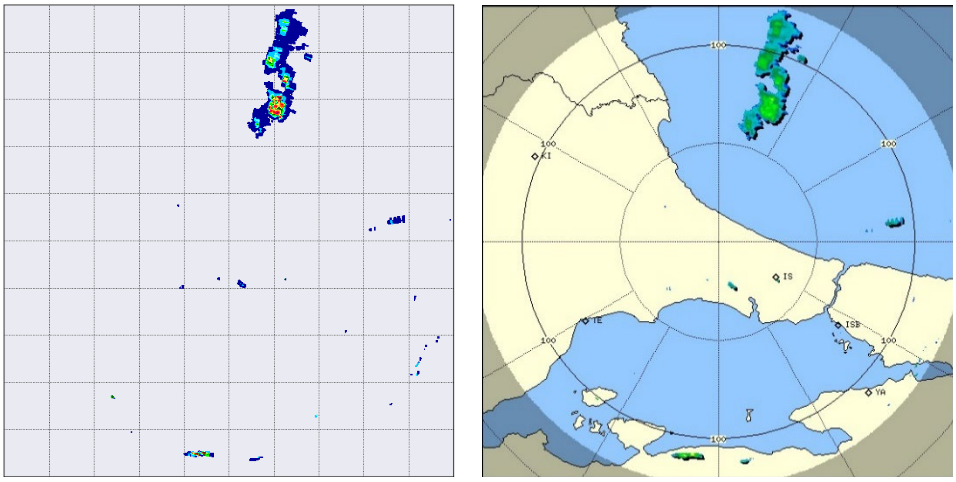
Şekil 5 11/03/2016 – 13:00 GMT, Şekil 6 06/01/2016 – 03:00 GMT ve Şekil 7 30/08/2016 – 02:00 GMT tarih ve saatli vakalardaki desen karşılaştırmalarını göstermektedir. İlgili şekilllerden görüldüğü üzere, geliştirilen *MeteoRadar* yazılımından elde edilen saatlik yağış desenleri ile IRIS'ten elde edilenler birbirleriyle aynıdırlar. Desenler arasında görülebilecek hafif farklılıklar renk sklasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak *MeteoRadar*'ın veri çözümleme ve görselleştirme konusunda başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 5. MeteoRadar yazılımının çıktısı (soldaki) ile IRIS çıktısının 11/03/2016, 13:00 GMT için desen karşılaştırması

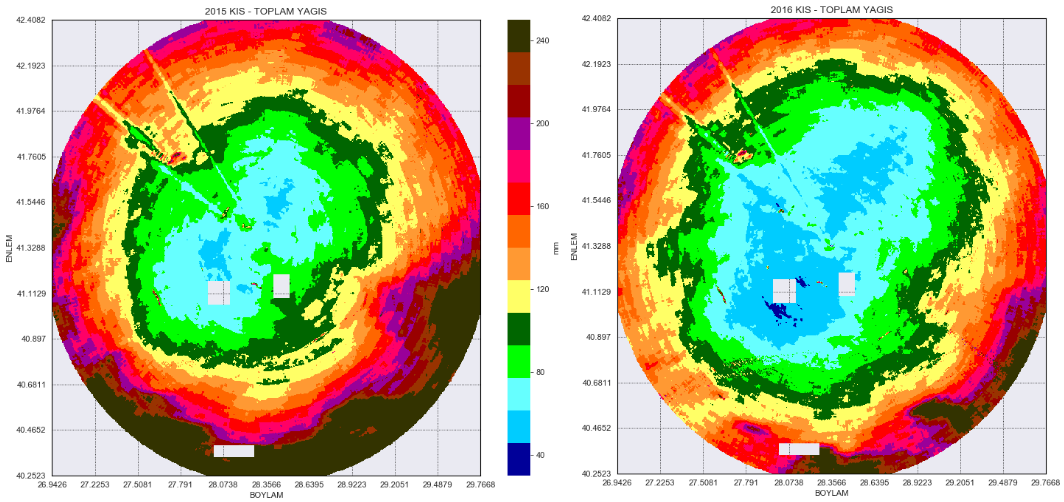


Şekil 6. MeteoRadar yazılımının çıktısı (soldaki) ile IRIS çıktısının 06/01/2016, 03:00 GMT için desen karşılaştırması



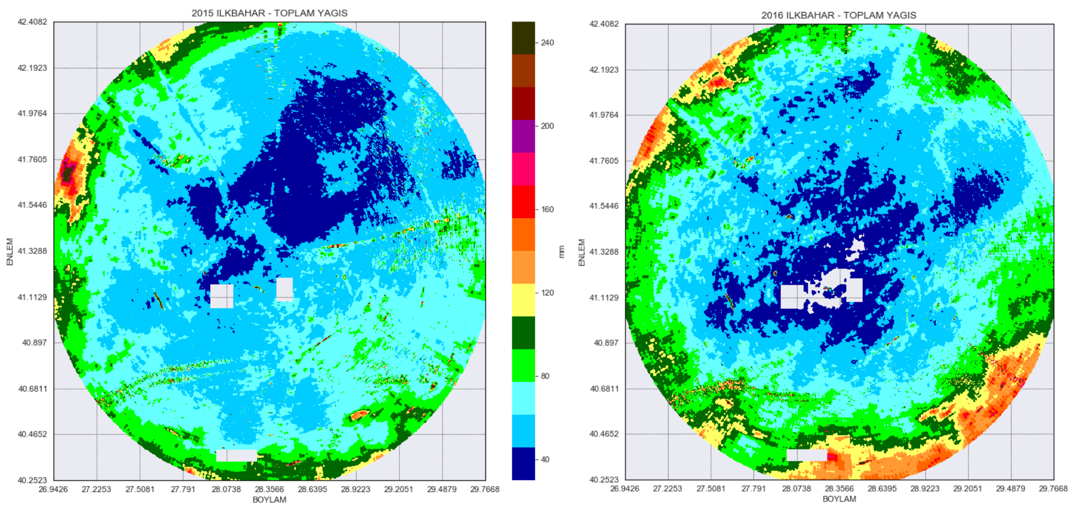
Şekil 7. MeteoRadar yazılımının çıktısı (soldaki) ile IRIS çıktısının 30/08/2016, 02:00 GMT için desen karşılaştırması

Şekil 8 kış mevsimine (Aralık, Ocak ve Şubat) ait yağış desenlerini göstermektedir. Soldaki şekil 2015 yılına ve sağdaki de 2016 yılına aittir. Her 2 yıldan da fazla yağışı radar diskinin kenar bölgelerinin aldığı görülmektedir. Özellikle güney kenar bölgelerde yağış miktarı 240 mm'ye kadar çıkmaktadır. Merkez ve merkeze yakın (mavi ve yeşil) 40-100 mm bandındadır. Şekiller üzerindeki çizgi halinde görünen yapılar hatalı verilere işaret etmektedir.



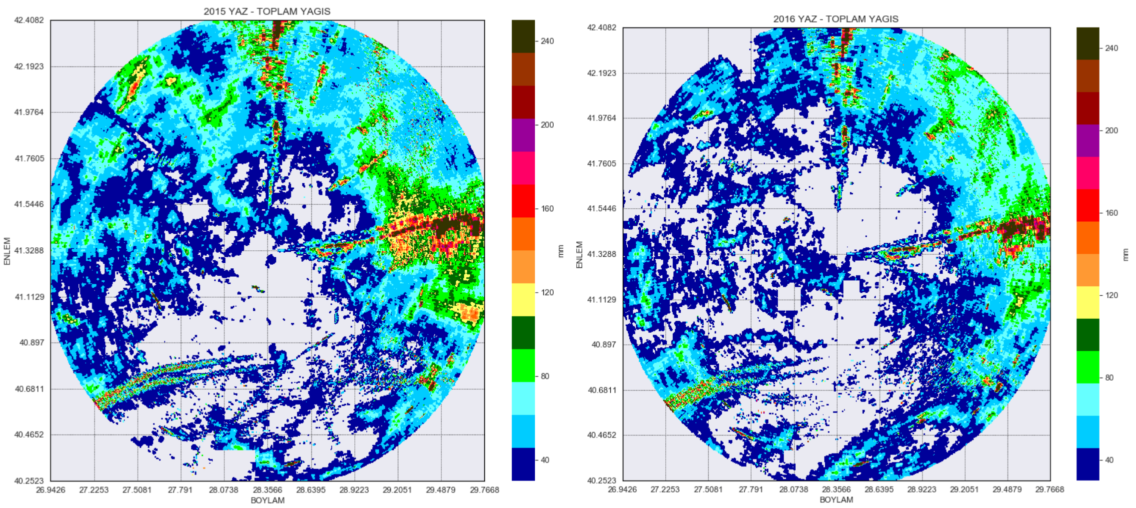
Şekil 8. 2015 ve 2016 kış mevsimlerine ait yağış desenleri

İlkbahar mevsimine (Mart, Nisan ve Mayıs) ait yağış desenlerine göre ve beklendiği üzere, kışa nazaran yağış miktarlarında önemli bir azalma söz konusudur (Şekil 9). Radar diskinin genelinde 20-70 mm bandında yağış görülmektedir. Soldaki 2016 ilkbaharında radar diskinin özellikle güney kenarlarında 2015'e göre daha fazla yağış gözlenmektedir.



Şekil 9. 2015 ve 2016 ilkbahar mevsimlerine ait yağış desenleri

Yaz mevsimine (Haziran, Temmuz ve Ağustos) gelince ise, beklendiği üzere yağışlar daha da azalmakta ve 2015 yazı için radar diskinin sağ kenar bölgesinde diğer alanlara göre daha fazla yağış görülmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. 2015 ve 2016 yaz mevsimlerine ait yağış desenleri.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma için geliştirilen *MeteoRadar* yazılımının saatlik yağış görüntüsü çıktılarıyla, IRIS tarafından hazırlanmış çıktılar kıyaslandığında, *MeteoRadar*'ın veri çözümleme ve görselleştirme konusunda başarılı olduğu görülmektedir.

Kış ve ilkbahara ait desenlerde en yüksek yağış alanlarının radar diskinin kenar bölgeleri olduğu gözlenmektedir. Bu alanlar genelde deniz yüzeylerine denk gelmektedir. Ayrıca her 3 mevsimde de düşük yağışların radar diskinin merkez ve merkeze yakın alanlarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda bu durum, büyük oranda radarın merkez ve merkeze yakın alanda taradığı hacmin radar diskinin kenarlarına doğru taranan hacimden daha az olmasından kaynaklanmaktadır.

MeteoRadar, bu aşamada komut satırında ve sadece Windows üzerinde çalışacak şekilde kodlanmıştır. Zaman içerisinde çapraz platform desteği (Windows, Linux, Mac) ve bir uzaktan algılama operatörünün rahatça kullanabileceği IRIS benzeri bir görüntüleme arayüzünün geliştirilmesi planlanmaktadır. Bu planlanan arayüzün yersel veri ile validasyon yapabilme özelliğine sahip olması da düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Gürbüz, E.N. *İstanbul'un yağış desenlerinin radar verileriyle belirlenmesi*, Lisans Tezi, Uçak ve Uzay Bil. Fak., İTÜ, 54 sayfa, 2016.

[2] https://github.com/wradlib/wradlib, Son kontrol: 03/11/2019.

[3] *https://github.com/mwaskom/seaborn*, Son kontrol: 03/11/2019.

[4] *https://github.com/matplotlib/matplotlib*, Son kontrol: 03/11/2019.

Investigation of Solar Energy Potential by Using Innovative Trend Analysis Method

Nihat Mert YALÇINKAYA, Ahmet ÖZTOPAL

İTÜ, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği, 34469 Sarıyer İstanbul
mertyalcinkaya55@hotmail.com; oztopal@itu.edu.tr

ABSTRACT

In recent years, when the effects of global climate change have been felt more, it is important to conduct studies on how our renewable energy resources are also affected by this process. Therefore, the aim of this study is to reveal the change in solar energy potential in Türkiye in the period of 1988-2017. The Short Wave Incoming Radiation (SIS) dataset required for this was obtained from the Climate SAF (CM-SAF) Unit of the European Meteorological Satellites Operating Organization – EUMETSAT. These obtained data were evaluated for provinces of İstanbul, Bursa, Zonguldak, Trabzon, İzmir, Denizli, Antalya, Adana, Ankara, Sivas, Van, Elazığ, Gaziantep and Diyarbakır with Innovative Trend Analysis method. As a result of the comparison of the 2003-2017 period with the 1988-2002 period on monthly averages, a visibly increasing trend has been detected in provinces of Istanbul, Zonguldak, Sivas and Van compared to other provinces.

Keywords: CM-SAF, Innovative Trend Analysis, solar energy, Türkiye.

Yenilikçi Trend Analizi Yöntemiyle Güneş Enerjisi Potansiyelinin İncelenmesi

ÖZET

Küresel iklim değişikliğinin etkilerini daha fazla hissettiğimiz son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarımızın da bu süreçten nasıl etkildiğine dair çalışmaların yapılması önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, 1988-2017 döneminde ülkemizde güneş enerjisi potansiyelindeki değişimi ortaya koyabilmektir. Bunun için gerekli olan Kısa Dalga Boylu Gelen Işınım (SIS) veri seti Avrupa Meteorolojik Uyduları İşletme Teşkilatı – EUMETSAT'ın Climate SAF (CM-SAF) Birimi'nden temin edilmiştir. Elede edilen bu veriler, Yenilikçi Trend Analizi yöntemiyle İstanbul, Bursa, Zonguldak, Trabzon, İzmir, Denizli, Antalya, Adana, Ankara, Sivas, Van, Elazığ, Gaziantep ve Diyarbakır illeri için değerlendirilmiştir. Aylık ortalamalar üzerinden 2003-2017 döneminin 1988-2002 dönemi ile karşılaştırılması sonucunda İstanbul, Zonguldak, Sivas ve Van illerinde diğer illerimize nazaran gözle görülür artan bir trend tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: CM-SAF, güneş enerjisi, Yenilikçi Trend Analizi, Türkiye.

A Geospatial Approaches: Drought Monitoring Using Google Earth Engine

Venkadesh SAMYKANNU[1], Sellaperumal PAZHANIVELAN[2]

[1]Agro Climate Research Centre, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore–641 003, Tamil Nadu (INDIA)
[2]Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore – 641 003, Tamil Nadu (INDIA)
venkadeshacrc@gmail.com; pazhanivelans@gmail.com

ABSTRACT

Precipitation is considered the important variable to assess extreme weather events across the global and regional levels. Over the past decades, droughts and floods are occurred more frequently and intensified. Here, satellite based rainfall data was used for drought monitoring using percentage of rainfall deviation over Tamil Nadu. Google Earth Engine (GEE) was used to extract historical Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) precipitation product. GEE is a cloud-based online interface of geospatial processing platform to easily access large data sets and which enables users to conduct a wide range of many advanced research activities and decision making for remote sensing applications. The GEE increases the accessibility of earth observation data and available to the wide drought indices and multiple parameters. Drought severity was determined by analyzing the long period average of rainfall spatiotemporal distribution of drought conditions. Results from this study, more positive deviation of rainfall many parts of Tamil Nadu. GEE platform handles geospatial big data for continued drought monitoring in the coming decades to users in developing countries as well as other environmental monitoring applications.

Keywords: Drought analysis, CHIRPS, GEE, Tamil Nadu.

SPONSORS

SU VAKFI

MeteoEnerji

METEO KODLAMA İTÜ

İTÜ METEO TAHMİN TAKIMI

AVAS TEKNOLOJİ