

TC
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KIZILIRMAK HAVZASINDA ALANSAL YAĞIŞ İLE BUHARLAŞMA-
TERLEMENİN İZLEME VE DEĞERLENDİRİLMESİNDE UYDU
GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILMASI

Sakine ÇETİN

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA BÖLÜMÜ ANA BİLİM DALI

SAMSUN

2018

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Sakine ÇETİN tarafından hazırlanan “Kızılırmak Havzasında Alansal Yağış ile Buharlaştırma-Terlemenin İzleme ve Değerlendirilmesinde Uydu Görüntülerinin Kullanılması” adlı tez çalışması 07.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Anabilim Dalı’nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Doç. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Sevda Zuhul AKYÜREK
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye Prof. Dr. Yusuf Ersoy YILDIRIM
Ankara Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Üye Prof. Dr. Bilal CEMEK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Üye Doç. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Üye Dr. Öğretim Üyesi Hakan AKSU
Samsun Üniversitesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2018

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

07/11/2018

Sakine ÇETİN

ÖZET

Doktora Tezi

KIZILIRMAK HAVZASINDA ALANSAL YAĞIŞ İLE BUHARLAŞMA- TERLEMENİN İZLEME VE DEĞERLENDİRİLMESİNDE UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANILMASI

Sakine ÇETİN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL

Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için yürütülen bu çalışmada yağış ve buharlaşma-terlemenin (ET) alansal dağılımının belirlenmesinde enterpolasyon ve uzaktan algılama tekniklerinin kullanılma olanakları araştırılmıştır. Çalışmada meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş yağış ve diğer meteorolojik parametrelerin yanı sıra Küresel Yağış Ölçümü (GPM) sisteminden temin edilen yağış ürünleri ve Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Yağış ile birlikte diğer meteorolojik verilerin enterpolasyon yöntemleriyle alana dağıtılması için alternatif yöntemlerin performansları test için ayrılan veriler kullanılarak değerlendirilmiştir. GPM sisteminden alınan yağış görüntüleri noktasal yağış ölçüm verileri ve alana dağıtılmış yağış haritaları ile aylık ve yıllık olarak karşılaştırılmıştır. ET haritalamada ise Landsat 8 uydu görüntüleri ve enterpolasyon yöntemleri ile alana dağıtılan meteorolojik veriler girdi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yağış ve referans ET (ET_r) için Co-Kriging (COK), diğer meteorolojik veriler için Ağırlıklı Ters Mesafe Yöntemi (IDW) istatistiksel performans bakımından öne çıkmıştır. Aylık yağış verileri için yapılan karşılaştırmada, GPM ile yağışölçer verileri arasındaki ilişkinin regresyon katsayısı (R^2) 0.24 ile 0.81 arasında değişim göstermiştir. Yıllık toplam yağış bakımından, GPM ile yağışölçer verileri arasında $R^2=0.66$ seviyesinde, enterpolasyon ile oluşturulan yağış haritaları arasında $R^2=0.71$ seviyesinde uyum belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen aylık ve dönemlik ET haritalarının arazi kullanımı ve yağış haritaları ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir. Havzalarda yağışın izlenmesinde yeteri kadar sıklıkta yağışölçerden oluşan ölçüm ağları ile elde edilen veriler ve enterpolasyon tekniklerinin öncelikle tercih edilebileceği, ancak bu tür sistemlerin yatırım ve işletme maliyeti gibi kısıtlar nedeni ile kurulamadığı durumlarda GPM sisteminin bu amaçla kullanılabilirliği ve ET haritalamada uydu görüntülerine ve alana dağıtılmış meteorolojik verilere dayanan enerji dengesi yaklaşımlarının öncelikle kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Kasım 2018, 134 sayfa

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, Enterpolasyon, Kızılırmak Havzası, Buharlaşma-Terleme, Yağış

ABSTRACT

Doktoral Dissetation

MONITORING AND EVALUATION OF SPATIAL DISTRIBUTION OF PRECIPITATION AND EVAPOTRANSPIRATION IN KIZILIRMAK BASIN BY USING SATELLITE IMAGES

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences

Department of Agriculture Structures and Irrigation

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL

The aim of this study is to explore the use of interpolation techniques and remote sensing techniques in determining the areal distribution of rainfall and actual evapotranspiration in 2015 water year. In addition to precipitation and other meteorological parameters, GPM and Landsat 8 satellite products were used. Statistical performance of alternative interpolation methods were evaluated by using test data. Precipitation data of GPM system compared with rain gauge data and precipitation maps generated by using interpolation methods, at monthly and yearly basis. For ET mapping, Landsat 8 images and meteorological data maps were used as input data. According to results, Co-Kriging (COK) for precipitation and reference evapotranspiration (ET_r) and Inverse Distance Weighted Method (IDW) for other meteorological data were came into prominence. Statistical relationship between GPM and rain gauge data gave regression coefficients (R^2) between 0.24 and 0.81 for monthly basis and 0.66 for annual basis and R^2 value of relationship between GPM and interpolation based annual precipitation maps were 0.71. Results of this study was showed that monthly and seasonal ET maps were consistent with land use types. Consequently, for monitoring precipitation at catchment level the first preference could be application of interpolation techniques to data measured by a densely established rain gauge network, but when some limitations for such a network due to cost of establishment and operation, GPM system could be used for same purpose and for ET mapping using energy balance based methods with satellite images and meteorological data distributed over the catchment could be preferred as primarily method.

November 2018, 134 pages

Key Words: Remote Sensing, Interpolation, Kızılırmak Basin, Evapotranspiration, Precipitation

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesi ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen, bilgisinden ve tecrübesinden yararlandığım çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL' a sonsuz teşekkür ederim.

Tez izleme jürisinde yer alan ve katkı sağlayan hocalarım Sayın Prof. Dr. Sevda Zuhâl AKYÜREK ve Sayın Prof. Dr. Bilal CEMEK' e içtenlikle teşekkür ederim.

Tez hazırlama sürecinde destek ve yardımlarını esirmeyen Sayın Araş. Gör. Emre TUNCA' ya teşekkür ederim.

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitim ve öğretim hayatım boyunca emeği geçen Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü hocalarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her aşamasında desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu tez çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) PYO.ZRT.1904.18.012 nolu ve "Kızılırmak Havzasında Evapotranspirasyon, Yağış ve Yüzey akışın İzleme ve Değerlendirmesinde Uydu Görüntülerinin Kullanılması" adlı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kasım 2018, Samsun

Sakine ÇETİN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	5
2.1. Yağış Dağılımı Üzerine Yapılmış Çalışmalar.....	5
2.2. Buharlaştırma-Terleme Konusunda Yapılmış Çalışmalar.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	28
3.1. Materyal.....	29
3.1.1. Çalışma alanına ait genel bilgiler.....	29
3.1.2. Kızılırmak havzası arazi kullanım durumu.....	30
3.1.3. Kızılırmak havzası sayısal yükseklik modeli verileri.....	32
3.1.4. Meteoroloji istasyonları ve meteorolojik veriler.....	33
3.1.5. Küresel yağış ölçüm sistemi (GPM) verileri.....	34
3.1.6. Landsat 8 uydu verileri.....	35
3.1.7. Kullanılan bilgisayar yazılımları.....	37
3.2. Yöntem.....	37
3.2.1. Kızılırmak havza sınırlarının ve akım ağlarının belirlenmesi.....	37
3.2.2. Meteorolojik verilerin kalite kontrolü, eksik verilerin tamamlanması ve hesaplamalar.....	37
3.2.3. Uydu tabanlı yağış haritalarının oluşturulması.....	38
3.2.4. Referans bitki su tüketimi (ET _r) hesaplamaları.....	38
3.2.5. Enterpolasyon yöntemleri ile alansal dağılım haritalarının oluşturulması.....	39
3.2.6. ET haritalarının oluşturulması.....	43
3.2.7. Yağış haritalarının karşılaştırılması.....	49
3.2.8. Yağış ve ET haritalarının değerlendirilmesi.....	50
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Çalışma Alanının Sayısal Yükseklik Modeli.....	51
4.2. GPM Sisteminden Elde Edilen Yağış Haritaları.....	52
4.3. Meteorolojik parametrelerin alansal dağılım haritaları.....	54
4.3.1. Yağış haritaları.....	55
4.3.2. Saatlik hava sıcaklığı, oransal nem ve rüzgâr hızı haritaları.....	60
4.3.4. Referans bitki su tüketimi (ET _r) alansal dağılım haritaları.....	70
4.4. Kızılırmak Havzasının 1 Nisan-1 Ekim 2015 dönemi ET Haritaları.....	76
4.5. Analiz ve Değerlendirme.....	79
4.5.1. GPM uydusu yağış haritaları ile yağış ölçüm verilerinin karşılaştırılması.....	79
4.5.2. GPM sisteminden alınan ve enterpolasyon tekniği ile alana dağıtılan yağış haritalarının karşılaştırılması.....	82
4.5.3. Yağış verisi olmayan alanlar için enterpolasyon ve GPM yağış değerlerinin performansının karşılaştırılması.....	87
4.5.4. Yağış ve ET haritalarının değerlendirilmesi.....	89
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	91
EKLER.....	111

EK 1. AYLİK YAĞIŞ VERİLERİNİN TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ	111
EK 2. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK Hava sıcaklığının (TA) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ	111
EK 3. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK oransal nemin (RH) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ	111
EK 4. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK RÜZGÂR HIZININ (u_2) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ	111
EK 1. KIZILIRMAK HAVZASINDA 2015 SU YILI İÇİN TEMİN EDİLEN AYLİK YAĞIŞ VERİLERİNİN TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ.....	112
EK 2. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK Hava sıcaklığının (Ta) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ	113
EK 3. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK oransal nemin (RH) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ	114
EK 4. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK RÜZGÂR HIZININ (u_2) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ	115
EK 5. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN AYLİK referans bitki su tüketiminin ($ET_{aylık}$) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ.....	116
EK 6. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK referans bitki su tüketiminin ($ET_{saatlik}$) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ.....	117
ÖZGEÇMİŞ	118

SİMGELER VE KISALTMALAR

KISALTMALAR

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CIMEC	Ekstrem Koşullarda Ters Modelleme Kullanan Kalibrasyon
CMORPH	MORPHing Tekniği
Co	Nugget Varyans
Co+Cs	Sill
COK	Co-Kriging
CPC	İklim Tahmin Merkezi Sistemi
DN	Sayısal Numara
DPR	Çift Frekanslı Yağış Radarı
E	Buharlaşma
ET	Buharlaşma-Terleme
ET _{aylık}	Aylık ET
ET _i	Anlık ET
ET _r	Referans Bitki Su Tüketimi
ET _r _{aylık}	Aylık Referans Bitki Su Tüketimi
ET _r _F _{aylık}	Ortalama ET _r _F
ET _r _{günlük}	Günlük Referans Bitki Su Tüketimi
ET _r _{saatlik}	Saatlik Referans Bitki Su Tüketimi
G	Toprak Isı Akısı
GMI	Çok Kanallı Bir Mikrodalga Görüntüleme
GPI	Küresel Polinomial Enterpolasyon
GPM	Küresel Yağış Ölçümü
GPM-IMERG	Birleştirilmiş Küresel Yağış Ölçümü
GSMaP	Küresel Uydu Yağış Haritalama Sistemi
H	Hissedilebilir Isı Akısı
IDW	Ağırlıklı Ters Mesafe Yöntemi
IWMI	Uluslararası Su yönetim Enstitüsü
KaPR	Ka-bant yağış radarı
Kc	Bitki Katsayısı
KED	Dış noktadan Krigingle örnekleme
KuPR	Ku-bant Yağış Radarı
L	Buharlaşma Gizli Isısı
LE	Gizli Isı Akısı
L _λ	Spektral radyans
MAE	Mutlak Ortalama Hata
METI	Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Odası Bakanlığı
METRIC	ET'nin Haritalanmasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon Modeli
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MRAE	Bağıl Ortalama Mutlak Hata
MPE	EUMETSAT'ın çoklu sensör yağış tahmini

n	Veri sayısı
NASA	Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NDVI	Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi
NIR	Yakın İnfrared
NN	En Yakın Komşu
NSE	Nash-Sutcliffe etkinliği
OK	Ordinary Kriging
P	Atmosferik Basınç
PERSIANN	Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Yağış Tahmini
PR	Yağış radarı
R	Korelasyon Katsayısı
R ²	Belirleme Katsayısı
RH	Oransal Nem
RMSE	Tahmin Hatasının Standart Sapması
R _n	Net Radyasyon
R _{nl}	Net Uzun Dalga Boylu Radyasyon
R _{ns}	Net Kısa Dalga Boylu Radyasyon
R _s	Güneş Radyasyonu
RS _{günlük}	Günlük Güneş Radyasyonu
RS _{saatlik}	Saatlik Güneş Radyasyonu
SAVI	Toprak Yansımalarını Dikkate Alan Vejetasyon İndeksi
SEBAL	Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması
SEBS	Yüzey Enerji Dengesi Sistemi
SK	Basit Kriging
SK _{lm}	Bölgesel Ortalamalarla Basit Kriging
S-SEBI	Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi İndeksi
SSEBop	Operasyonel Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi
SWIR	Kısa Dalga İnfrared
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
T	Terleme
T _a	Hava Sıcaklığı
TARBİL	Tarımsal İzleme ve Bilgi sistemi
T _c	Bitki Örtüsü Sıcaklığı
TIR	Termal infrared
TMI	Mikrodalga Görüntüleyici
TMPA	TRMM Çok Uydulu Yağış Analizi
TRMM	Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu
T _s	Yüzey Sıcaklığı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
u ₂	Rüzgâr Hızı
VIC - 3L	Üç Katmanlı Değişken Sızma Kapasitesi
VNIR	Görünür Bölge
WBE	Su bütçesi hatası
YAI	Yaprak Alan İndeksi
α	Albedo
ϵ_0	Geniş Bant Emissivitesi
ϵ_{NB}	Dar Bant Emissivitesi
ρ_λ	Uyduda Spektral Yansıma Oranı
$\rho_\lambda,$	Yeryüzünde Spektral Yansıma Oranı
ρ_s, b	Yüzeyde Spektral Yansıma Oranı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan veriler ve uygulanan yöntemlere ilişkin çalışma planı.....	28
Şekil 3.2. Türkiye içerisinde Kızılırmak havzasının coğrafik konumu.....	29
Şekil 3.3. Kızılırmak havzasının arazi kullanım durumu haritası	31
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ve havza içerisindeki dağılımları.....	29
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan Landsat 8 uydusunun çerçevelerinin Kızılırmak havzasındaki dağılımları.....	33
Şekil 4.1. Kızılırmak Havzası Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) haritası.....	51
Şekil 4.2. Kızılırmak havzasının GPM-IMERGv03 uydu ürününden elde edilen aylık yağış haritaları.....	53
Şekil 4.3. Kızılırmak havzasının GPM-IMERGv03 uydu ürününden elde edilen Kızılırmak havzası yıllık toplam yağış dağılım haritası.....	54
Şekil 4.4. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için Co-Kriging (COK) yöntemi ile hazırlanan aylık yağış dağılım haritaları.....	59
Şekil 4.5. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için Co-Kriging (COK) enterpolasyon yöntemi ile hazırlanan yıllık toplam yağış dağılım haritası.....	59
Şekil 4.6. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihte saat 11:00 – 11:30 arasındaki hava sıcaklığı (Ta) haritaları.....	64
Şekil 4.7. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihte saat 11:00 – 12:00 arasındaki oransal nem (RH) haritaları.....	66
Şekil 4.8. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihte saat 11:00 – 12:00 arasındaki rüzgâr hızı (u_2) haritaları.....	68
Şekil 4.9. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için COK enterpolasyon yöntemi ile elde edilen aylık referans bitki su tüketimi ($ET_{aylık}$) haritaları.....	74
Şekil 4.10. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihlerde saat 11:00 – 12:00 arasındaki referans bitki su tüketimi ($ET_{saatlik}$) haritaları.....	75

Şekil 4.11. Kızılırmak havzasının 2015 su yılında Nisan – Ekim dönemi aylık ET haritaları	78
Şekil 4.12. Kızılırmak havzasının 2015 su yılında 1 Nisan – 1 Ekim dönemi toplam ET haritası	78
Şekil 4.13. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için aylara göre GPM uydu verilerinden elde edilen yağış değerleri ile yağış istasyonlarından temin edilen yağış verilerinin karşılaştırılması	80
Şekil 4.14. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden elde edilen aylık yağış verileri ile yağış istasyonlarından temin edilen aylık yağış verilerinin karşılaştırılması	80
Şekil 4.15. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden elde edilen yıllık yağış değerleri ile yağış istasyonlarından temin edilen yıllık yağış verilerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.16. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylara göre GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yağış değerlerinin karşılaştırılması	85
Şekil 4.17. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen aylık yağış verilerinin karşılaştırılması	85
Şekil 4.18. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yıllık yağış değerlerinin karşılaştırılması	86
Şekil 4.19. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için yıllık toplam yağış miktarlarında GPM uydu verilerinin yer verilerine göre hata oranı haritası	87
Şekil 4.20. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için Co-Kriging enterpolasyon yönteminde kullanılan test yağış verisi setinde, COK ve GPM uydusu yağış verileri ile MGM ve TARBİL istasyonu yağış verilerinin karşılaştırılması	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışma alanı için temin edilen SYM verilerinin genel koordinat bilgileri	32
Çizelge 3.2. Landsat 8 uydusu bantlarının genel özellikleri (Anonim, 2018e)	35
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan Landsat 8 uydu görüntüleri tarihleri ve çerçeve kodları	36
Çizelge 4.1. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylara göre GPM sisteminden elde edilen en düşük ve en küçük aylık toplam yağış değerleri.....	52
Çizelge 4.2. Çalışma kapsamında verisi değerlendirilen ve kullanılan istasyon sayıları.....	54
Çizelge 4.3. Farklı enterpolasyon yöntemlerinin Kızılırmak havzasında 2015 su yılında aylık yağışların alana dağıtılmasındaki istatistiksel performans parametreleri.....	57
Çizelge 4.4. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylık yağış değerlerine göre seçilen yarı varyogram modellerinin Nugget, Sill, Range, Nugget/Sill ve R^2 değerleri	57
Çizelge 4.5. Kızılırmak havzası 2015 su yılı aylık hava sıcaklığı, oransal nem ve rüzgâr hızı için alternatif enterpolasyon yöntemlerinin istatistiksel performansları	62
Çizelge 4.6. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylık referans bitki su tüketimi ($ET_{aylık}$) değerlerinin alansal dağılımının hazırlanmasında alternatif enterpolasyon yöntemlerinin istatistiksel performans parametreleri.....	72
Çizelge 4.7. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için $ET_{aylık}$ değerlerinin alansal dağılım haritalarının hazırlanmasında COK enterpolasyon yöntemi için seçilen yarı varyogram modellerinin Nugget, Sill, Range, Nugget/Sill ve R^2 değerleri.....	73

1. GİRİŞ

Havza su bütçesinin en temel bileşenleri yağış, yüzey akış, infiltrasyon ve buharlaşma-terlemedir (ET) (Wang vd, 2014). Bu bileşenlerin her birinin konumsal ve zamansal boyutta detaylı bir biçimde nasıl değiştiğinin örnekleme ve noktasal ölçümlerle belirlenmesi, küçük havzalarda zor ve büyük havzalarda olanaksızdır (Li vd, 2012). Son yıllarda su bütçesi ile ilgili farklı sistem yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu yaklaşımlarda en temel veri uzaktan algılama teknikleri ve uydu görüntülerinden elde edilmektedir (Karimi, 2014a). Uydu görüntülerine dayalı bu teknikler, bitki ve toprak koşullarının sezon boyu gözlenmesinde, su kaynaklarının izlenmesi ve değerlendirilmesinde, sulama suyu yönetiminde önemli bilgiler sağlamaktadır (Droogers vd, 2010; Ferrari vd, 2010; Mondéjar-Jiménez vd, 2011). Yapılan araştırmalara göre uzaktan algılama teknikleri su bütçesi ve buna benzer hidrolojik çalışmalarda büyük potansiyele sahiptir (Mouelhi vd, 2006; Stisen vd, 2008; Akgül, 2009; Taghvaeian ve Neale, 2011; Xue vd, 2013; Karimi vd, 2015; Karimi ve Bastiaanssen, 2015).

Hidroloji çalışmalarının yürütüldüğü birçok havzada yersel hidrometeorolojik verilerin az olması nedeniyle uydu görüntüleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Uzaktan algılama teknikleri hidrolojik süreçlerin takip edilmesinde çok büyük bir potansiyele sahiptir ve özellikle büyük ölçekli su havzaları gibi alanlar söz konusu olduğunda noktasal ölçüm verilerinden çok daha etkili ve kıymetlidir (Mohamed vd, 2004). Bir su havzasında su kaynaklarının sürdürülebilir olarak planlanması büyük ölçüde yağışların ve ET'nin zamansal ve mekansal değişkenliğinin izlenmesi ile olanaklıdır (Wilk vd, 2006). Bu nedenle yağış ve ET'ye dayanan hidrolojik su bütçesi modelleri su yönetimi konusunda uzmanlar, karar vericiler ve diğer paydaşlar için oldukça değerlidir (Alkan Olsson ve Andersson, 2005).

Bir nehir havzasında yağışın alansal dağılımı yağışölçer verilerinin enterpolasyonu ile kestirilebilir (Kurtzman vd, 2009; Li vd, 2012). Yapılan araştırmalarda alansal yağış tahminlerinde çeşitli enterpolasyon yöntemleri önerilmiştir. Bunlardan eş yağış haritası ve Thiessen poligon yöntemleri geçmişten

günümüze yaygın olarak kullanılan tekniklerdir (Guillermo vd, 1985). Ancak bu yöntemlerin bir havzada uygulanması topografik etkiler ve yağış istasyonu sayısının yetersiz olması gibi nedenlerden dolayı gerekli hassasiyette doğru sonuçlar veremeyebilir (Taesombat ve Sriwongsitanon, 2009). Kriging gibi jeostatistik yaklaşımlar da yağışın alansal dağılımının tahmininde sıklıkla kullanılmaktadır (Sarangi vd, 2006; Zhang ve Srinivasan, 2009; Ly vd, 2011; Mutua ve Kuria, 2012; Aydın ve Çiçek, 2013; Abo-Monasar ve Al-Zahrani, 2014). Ancak kriging yöntemindeki izotropik kovaryans yapısı ve yağış istasyonu sayısının yetersiz olması gibi nedenler bazen uygun olmayan yağış haritaları üretilmesine neden olabilir (Brown vd, 1994; Le vd, 1997; Kibria vd, 2002; Li vd, 2012). Ayrıca birçok benzer yöntem konumsal değişkenliği dikkate almayıp, çok düzgün yağış alanları üretmektedir. Bu durum yağışların, belirli seviyede yüksek tahmin edilmesini ve hidrolojik bir modeldeki gücünü azaltmaya neden olabilmektedir (Creutin ve Obled, 1982; Haberlandt, 2007; Skaugen ve Andersen, 2010). Diğer yandan havza çalışmalarında alansal yağış tahmininde kullanılan yağış istasyonu sayısını arttırmak hem ekonomik hem de pratik olmamaktadır (Taesombat ve Sriwongsitanon, 2009; Li vd, 2012). Tüm bu yöntemlere alternatif olarak son yıllarda su bütçesi ve hidrolojik modelleme gibi birçok alanda uydu ve/veya radar temelli sistemler yoğun bir biçimde kullanılmaktadır (Wilk vd, 2006; Collischonn vd, 2008; Sawunyama ve Hughes, 2008; Casimiro vd, 2009; Yong vd, 2010; Li vd, 2012). Bu amaçla yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde kullanılmak üzere çeşitli uydu ve/veya radar temelli sistemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, Birleştirilmiş Küresel Yağış Ölçümü (GPM-IMERG) (Huffman vd, 2018), Tropikal Yağış Ölçüm Misyonu (TRMM) (Huffman vd, 2007), Küresel Uydu Yağış Haritalama Sistemi (GSMaP) (Kubota vd, 2007) İklim Tahmin Merkezi Sistemi (CPC) MORPhing Tekniği (CMORPH) (Joyce vd, 2004) ve Yapay Sinir Ağlarına Dayalı Yağış Tahmini (PERSIANN) sistemidir (Hsu vd, 1997; Sorooshian vd, 2000; Hong vd, 2004).

Uydu ve/veya radar temelli sistemlerin havza çalışmalarında güvenilir olarak kullanılması için yağışölçer verileri ile doğrulanması gerekmektedir. Güneybatı Afrika'daki Okavango nehir havzasında (Wilk vd, 2006), Brezilya'da Tapajós nehir havzasında (Collischonn vd, 2008), Peru'da Urubamba ve Tambo havzalarında (Casimiro et al., 2009), Çin'de Laohahe havzasında (Yong vd, 2010), Çin'de, Xinjiang havzasında (Li vd, 2012), Güney Çin'de Ganjiang nehir havzasında (Hu vd, 2014;

Tang vd, 2016; Tang vd, 2018;) yapılan çalışmalarda uydu ve/veya radar temelli yağış verileri yağışölçer verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlara göre uzaktan algılama ile tahmin edilen yağış verileri gerçekte önemli ölçüde uyuma sahiptir.

Havza su bütçesinin önemli elemanlarından biri olan ET bitki ve toprak yüzeyinden atmosfere buharlaşan suyun toplamı olarak ifade edilmektedir. Bir tarım alanında ET bitki türü ve gelişme dönemine göre belirlenebilen bitki katsayısı (Kc) ve meteorolojik verilere dayalı olarak hesaplanabilen referans ET (ET_o) ile tahmin edilebilmektedir. Ancak Kc ideal koşulları temsil etmektedir ve çoğu zaman gerçek koşullar ideal koşullardan farklılık göstermektedir. Buna ek olarak büyük tarım alanlarında yetiştirilen bitkilerin büyüme ve gelişme dönemlerini takip etmek de kolay değildir (Allen vd, 1998; Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b). Buna göre uydu verileri ile bitkisel alanları sürekli olarak izlemek daha uygun bir yöntem olabilir.

Uydu verileri kullanılarak ET'nin konumsal ve zamansal olarak tahmin edilmesinde yüzey enerji dengesi algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır (Jackson vd, 1981; Moran vd, 1996; Anderson vd, 1997; Bastiaanssen vd, 1998a; Kustas ve Norman, 2000; Roerink vd, 2000; Su, 2002; Allen vd, 2005; Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b; Anderson vd, 2007; Bastiaanssen vd, 2005; Bastiaanssen vd, 1998b; Gowda vd, 2008b; Kalma vd, 2008; Senay vd, 2013). Bu algoritmalarından bazıları, Arazi için Yüzey Enerji Dengesi Algoritması (SEBAL) (Bastiaanssen vd, 1998a), Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi İndeksi (S-SEBI) (Roerink vd, 2000), Yüzey Enerji Dengesi Sistemi (SEBS) (Su, 2002), ET'nin Haritalanmasında Yüksek Çözünürlük ve İçsel Kalibrasyon Modeli (METRIC) (Allen vd, 2007b) ve Operasyonel Basitleştirilmiş Yüzey Enerji Dengesi (SSEBop) (Senay vd, 2013)'dir. METRIC modelinin temeli SEBAL modelinde kullanılan ilke ve tekniklere dayanmaktadır (Allen vd, 2007b). SEBAL modeli Hollanda'da Bastiaanssen vd, (1995, 1998a,b, 2005; Bastiaanssen, 2000) tarafından geliştirilen ve dünya çapında uygulanan bir modeldir. METRIC ve SEBAL modellerinin her ikisi de enerji dengesi bileşenlerinin tahmin edilmesine dayanmaktadır. METRIC modeli ile SEBAL modeli anlık ET değerlerinin günlük ET değerlerine dönüştürülmesinde farklı yaklaşımlar içermektedir. METRIC bu dönüşümde uzun boylu bitki için Referans Bitki Su Tüketimi (ET_r) değerine dayanan bir yöntem içermektedir (Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b; Tasumi vd, 2005). METRIC modelinin temel girdileri, termal bant verisini

içeren bir uydu görüntüsü (örneğin Landsat ve MODIS), Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve çalışma alanında veya yakınında bulunan ölçüm istasyonlarında ölçülmüş meteorolojik verilerdir (Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b).

Su havzalarında uzaktan algılama teknikleri kullanılarak ET tahmin edilmesine ilişkin dünyanın çeşitli yerlerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları Türkiye’de Gediz havzasında (Bastiaanssen, 2000; Granger, 2000; Gieske ve W., 2005), Brezilya’da bulunan São Francisco nehir havzasında (Bastiaanssen ve Bantara, 2001; Teixeira vd, 2009), Pakistan’da bulunan Indus havzasında (Bastiaanssen vd, 2002), Çin’de bulunan Sarı nehir, Liudaogou, Hai ve Heihe nehir havzalarında (Liu vd, 2006; Kimura vd, 2007; Jia vd, 2012; Luo vd, 2012), Hindistan’da bulunan Krishna nehir havzasında (Ahmad vd, 2006), Gana’da bulunan Beyaz Volta havzasında (Compaore vd, 2008), İran’da bulunan Urmia havzasında (Bagheri vd, 2017) yürütülmüştür. Yapılan bu araştırmalara göre enerji dengesi tabanlı ET haritalama yöntemleri ET’ nin havza düzeyinde zamansal ve konumsal değişimlerinin belirlenmesinde kullanılabilir niteliktedir.

Bu çalışmanın temel amacı, Kızılırmak havzasında su bütçesi elemanlarından olan yağış ve ET’ nin uzaktan algılama teknikleri kullanılarak haritalanması ve havza su bütçesinde kullanım olanaklarının değerlendirilmesidir. Bu amaçla 2015 su yılı için GPM uydusu yağış haritaları ve ölçüm verileri kullanılarak yağış dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada GPM uydusu yağış haritaları ile noktasal yağış ölçüm verileri ve bu ölçüm verilerinden elde edilen yağış haritaları istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve uydu tabanlı yağış haritalarının performansı değerlendirilmiştir. Ek olarak uydu görüntüleri kullanılarak 2015 su yılının bir bölümü (1 Nisan-1 Ekim) için aylık ve dönemlik toplam ET haritaları oluşturulmuş ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak elde edilen yağış ve ET haritalarının havza su yönetiminde kullanım olanakları değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Yağış Dağılımı Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Yılmaz vd., (2005) tarafından yapılan bir çalışmada, üç farklı kaynaktan elde edilen yağış ürünleri (yağışölçer ağları (MAPG), radar/yağışölçer çoklu sensör ürünleri (MAPX) ve PERSIANN uydu tabanlı sistem (MAPS)) Mart 2000 - Kasım 2003 arası için değerlendirilmiştir. Çalışma alanı, güneydoğu ABD'de yer alan yedi havzayı içermektedir. Yapılan analizler veri setleri arasında bir havzadan diğer havzaya ve aynı zamanda havza içerisinde önemli ölçüde değişkenlik olduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışma yüzey akış tahmininde kullanılan hidrolojik bir model için uydu tabanlı sistemlerin, yağışölçer ağları ile değerlendirmesini de içermektedir. Çalışmada iki farklı değerlendirme yapılmıştır. İlki, uydu tabanlı sistem kullanılarak insan eliyle kalibrasyon ile elde edilen değerlendirme, ikincisi, hem uydu tabanlı sistem hem de yağışölçer ağları kullanılarak otomatik kalibrasyon ile elde edilen değerlendirmedir. Çalışma sonuçlarına göre uydu tabanlı sisteme dayalı model simülasyonlarının genel performansı hem havzanın boyutuna hem de yağış tahminlerindeki hataya bağlı olarak değişim göstermiştir. Uydu tabanlı sistem kullanılarak elde edilen model simülasyonlarının genel performansı küçük boyutlu havzalarda daha düşük, büyük havzalarda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yağışölçer ağları kullanıldığında ise, model performansı önemli ölçüde artmıştır.

Kanada' da Quebec, St.-Esprit havzasında gerçekleştirilen bir çalışmada, yüksekliği haritalamak için deterministik bir yöntem olan Ağırlıklı Ters Mesafe Yöntemi (IDW), jeostatistiksel bir yöntem olan Ordinary Kriging (OK) yöntemi kullanılmıştır. Havzada bulunan 488 yükseklik verisi ile havzanın eş yükselti haritası ve izokron (eş zaman çizgileri) haritası IDW ve OK yöntemleri kullanılarak haritalanmıştır. OK yönteminde Gaussian yarı varyogram modeli kullanılmıştır. Kriging yoluyla elde edilen izokron haritasının en yüksek değerinin çalışma havzasında gözlenen yüzey akış hidrograflarının pik değeri ile yakın olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, hidrolojik havza çalışmalarında kullanılan

jeoistatistiksel enterpolasyon yöntemlerinin, deterministik yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir (Sarangi vd, 2006).

Güneybatı Afrika'daki Okavango Nehri Havzasında yapılan bir çalışmada yağış-akış modellemesinde farklı noktadaki yağışölçer verileri ve yağış uydu verileri kullanılmıştır. Çalışmada uydu verileri olarak pasif mikrodalga (MW), mikrodalga görüntüleyici özel sensör (SSM/I), TRMM, mikrodalga görüntüleyici (TMI) ve TRMM yağış radarı (PR) verilerinden geliştirilen çoklu uydu kaynakları kullanılmıştır. Havzada bulunan yağışölçer verileri ile uydu verileri karşılaştırılmış ve uydu verilerinin % 20 oranında yağışı fazla tahmin ettiği tespit edilmiştir. Bu uydu veri setleri Pitman yağış akış modelinde (Hughes vd, 2006) kullanıldığında yağış verilerinin yüzey akışı tahmin etmede kabul edilebilir olduğu belirtilmiştir (Wilk vd, 2006).

Bostan ve Akyürek (2007) tarafından Türkiye'de yürütülen bir çalışmada, sıcaklık ve yağış değerlerinin mekânsal dağılımını araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada toplam 225 adet meteoroloji istasyonunda ölçülen yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri ile SYM verilerinden elde edilen yükseklik verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler 34 yıllık süre için (1970-2003) Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'den temin edilmiştir. Değişkenlerin modellenmesinde, Coğrafi Ağırlıklı Regresyon ve Cokriging (COK) yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada farklı değişken kombinasyonları analiz edilmiştir ve çapraz doğrulama sonuçları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda yağış değerlerinin konumsal bağımlılığının sıcaklık değerlerinden daha az olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ölçülen ve tahmin edilen değerler arasında belirleme katsayısının (R^2) sıcaklık verilerinde yağış verilerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Türkiye için genellikle R^2 değerlerine göre, Coğrafi Ağırlıklı Regresyon yöntemi, tahminler ve ölçümler arasında iki değişken seti için daha uyumludur.

Tayvan'da Tamshui Nehri havzasında, yağışların konumsal ve zamansal özelliklerini incelemek için yapılan bir çalışmada, 14 yağışölçerlerden alınan 34 yağış verisi kullanılmıştır. Çalışmada yarı varyogramlar yağışların konumsal ve zamansal yapısını tanımlamak için kullanılmıştır. Sonuçlar nehir havzasında yağış enterpolasyonun gözlenen olayları iyi temsil ettiğini göstermiştir. Ayrıca çalışmada yağış dağılımını belirlemek için kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin gerçek

zamanlı hidrolojik modelleme için yaygın olarak kullanılabilceği açıkça vurgulanmıştır (Cheng vd, 2007).

Çin'de yapılan bir çalışma yağış ölçümleri hatalarının tespit edilmesi ve düzeltilmesini konu almaktadır. Çin'de 1993 yılından önce yağış ölçümlerinin hatalarını belirlemek ve yeni bir düzeltme yöntemi bulmak amacıyla, 30 yağış değerlendirme istasyonu kurulmuştur. Yağış ölçüm hataları ölçüm sonuçlarının analizleri ile elde edilmiştir. Yağış ölçümlerinde tespit edilen rastgele ve sistematik hatalar bu çalışmada incelenmiştir. Düzeltme yöntemi özellikle rüzgâr kaynaklı hatalar için geliştirilmiştir. Çalışma sonucuna göre, operasyonel gözlemler için, yağış düzeltme sadece yatay yağışölçerler tarafından gerçekleştirilebilmekte ve yağışölçerlerin düzeltme yaklaşımlarından sonra yağış doğruluğu artabilmektedir (Ren ve Li, 2007).

Amazon'un önemli bir kolu olan Tapajós nehri havzasında yürütülen bir araştırmada TRMM uydusunun yağış tahminleri değerlendirilmiştir. Hidrolojik bir modele girdi olarak kullanılan günlük TRMM uydusu yağış verileri yağışölçer verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları uydu tahminlerinin havza düzeyinde hatalı ölçüm yapan yağışölçer verilerini tespit etmek için pratik bir araç olacağını göstermiştir. Ayrıca hidrolojik modellemenin sonuçları TRMM 'ye dayalı hesaplanmış hidrografların, yağışölçer verileri kullanılarak elde edilen hidrograflarla uyumlu olduğunu göstermiştir (Collischonn vd, 2008).

Perulu Amazon-Andes havzasında bulunan Ucayali havzasının iki alt havzasında yapılan bir araştırmada (Urubamba ve Tambo) yağışölçer verileri ile TRMM 3B43 ürünü aylık olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmadan sonra veriler aylık bir su bütçesi modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Urubamba havzasında orijinal TRMM verileri ve Tambo havzası üzerinde geliştirilmiş uydu verileri kullanıldığında daha iyi doğrulukla akış simülasyonu elde edilmiştir (Casimiro vd, 2009).

Yapılan bir çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile en yakın komşu (NN), IDW, Basit Kriging (SK), Ordinary Kriging (OK), Dış noktadan Kriging ile örnekleme (KED) ve bölgesel ortalamalarla basit kriging (SKlm) yöntemleri kullanılarak yağışın konumsal dağılımının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada yükseklik ve koordinat bilgisi SKlm ve KED yöntemlerinde yardımcı değişkenler kullanılmıştır.

Konumsal enterpolasyon yöntemleri 41 yağışölçerden alınmış 10 yıllık (1991–2000) yağış verisiyle Sarı Nehir'in akım yönünde yer alan 5,239 km²'lik alana sahip Luohe havzasında günlük konumsal yağış tahmin etmede kullanılmıştır. Çalışmada farklı enterpolasyon yöntemleri kullanılarak tahmin edilen yağışın konumsal dağılımının doğruluğu korelasyon katsayısı (R), Nash-Sutcliffe etkinliği (NSE) ve bağıl ortalama mutlak hata (MRAE) kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda dağıtılmış hidrolojik modellemede yaygın olarak kullanılan NN ve IDW yöntemleri karşılaştırılmış ve jeostatistiksel yöntemlerin daha doğru konumsal yağış tahmini sağladığı ifade edilmiştir (Zhang ve Srinivasan, 2009).

Yapılan bir çalışmada, uydu tabanlı yağış tahminlerinin, ölçüm araçları olmayan havzalarda yağış tahmininde oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan Çoruh Havzası, hidrolojik modelleme uygulaması için seçilmiştir. Model için gereken yağış girdi verisi meteoroloji istasyonlarındaki gözlemlerden ve TRMM uydusundan temin edilmiştir (3B42 ve 3B43). Bilinen bir hidrolojik model olan HEC-HMS, her iki yağış verisi kullanılarak, 2005 ve 2003 su yılları için Çoruh Havzasına uygulanmıştır. Akım simülasyonundan elde edilen sonuçlar, akım gözlem istasyonundan elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. İstatistiksel değerlendirmeler, TRMM 3B42 ürünü ile elde edilen model simülasyonu sonuçlarının, ölçüm istasyonu olmayan havzalarda su potansiyeli belirlemede umut verici sonuçlar verdiğini göstermiştir (Soytekin, 2010).

Peninsular Malaysia'da bulunan dört farklı bölgede yapılan bir çalışmada yağışın konumsal ve zamansal değişimi belirlenmiştir. Mevcut çalışma için, 25 km konumsal çözünürlükte ve 3 saatlik zamansal çözünürlükte TRMM uydusundan temin edilen yağış verileri kullanılmıştır. Ayrıca istasyon yağış verileri TRMM yağış verilerini doğrulamak için kullanılmış ve aralarında istatistiksel olarak önemli bir ilişki belirlenmiştir (doğrusal R değerleri Kota Bharu, Senai, Cameron highlands ve KLIA istasyonlarında sırasıyla 0.60, 0.85, 0.75 ve 0.63 olarak hesaplanmıştır). Yağışın gün içindeki değişiminin farklı bölgelerde değişken olduğu saptanmıştır (Varikoden vd, 2010).

Yapılan bir çalışmada uydu tabanlı yağış ürünlerinin girdi olarak kullanıldığı bir taşkın izleme sisteminin ilk değerlendirmesi sunulmuştur. Bu model yüzey akış eğri numarası yöntemi ile yağışların yüzey akışa dönüşmesi esasına dayalı olarak tasarlanmış basit bir hidrolojik modeldir. Çalışmada yağış TRMM Çok Uydulu Yağış

Analizi (TMPA) verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. TMPA ürünleri ilk olarak güneydoğu ABD’de radar ve yağışölçer verilerinin birleştirilmesiyle oluşturulan yağış ürünleri (Stage IV) kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme, yağış verilerinin bölgesel ve mevsimsel değişimlerin yanı sıra konumsal ölçekteki değişimlerinin (dolayısıyla havza ölçeğinde) belirlenmesinde TMPA ürünlerinin önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Taşkın izleme sistemi akış simülasyonları, ABD’de yer alan iki havzanın çıkışında gözlenen akış verileri ve sel arşiv verileri kullanılarak değerlendirilmiştir. Havza ölçeğinde yapılan analizler küresel taşkın izleme sisteminin sel olaylarının sadece başlangıcını simüle edebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte simülasyon performansının sonraki aşamalarda da düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen bu sonuç taşkın izlemede geliştirilmiş bir bileşene olan ihtiyaca işaret etmiştir. Kullanılan taşkın izleme sistemi havzada gözlemlenen sellerin sadece % 38’ini tespit edebilmiştir (Yılmaz vd., 2010).

Çin’de Laohahe havzasında yapılan bir çalışmada 2 çeşit TRMM ürünü (3B42RT ve 3B42V6) değerlendirilmiştir. TRMM yağış tahminleri yağışölçer verileriyle karşılaştırılmış ve üç katmanlı değişken sızma kapasitesi (VIC - 3L) modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Bölgeye göre değişmekle birlikte, hem günlük hem de aylık olarak 3B42V6, 3B42RT verileri yağış tahmininde daha iyi performans göstermiştir (Yong vd, 2010).

Belçika’da Ambleve ve Ourthe havzalarında (2,908 km²) 70 yağışölçerden alınan 30 yıllık yağış verileri kullanılarak bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada havza alanında günlük yağış için farklı konumsal enterpolasyon algoritmaları kullanılarak jeostatistiksel ve deterministik yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Jeostatistik algoritmalar için, günlük bazda temin edilen verilere farklı semi-varyogram modelleri uygulanmıştır. Sayısal yükseklik modelinden elde edilen yükseklik değerleri, çok değişkenli jeostatistik yöntemi oluşturmak için kullanılmıştır. Ayrıca, yağış verilerine uygulanan doğrulama ve çapraz doğrulama bu algoritmaların performansını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Varyogramlar arasında Gaussian modeli en uygun model olarak yöntemde kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, jeostatistiksel ve enterpolasyon teknikleri hidrolojik modellemede önemli ölçüde kullanılan Thiessen poligonu yönteminin üzerinde bir performans göstermiştir. Kriging yöntemine yükseklik verisinin ilave edildiği yöntemlerden etkin bir sonuç alınamamıştır. Çalışmada OK ve IDW yöntemleri

istatistiksel performansa göre öne çıkan yöntemler olarak kabul edilmiştir (Ly vd, 2011).

Congo havzasında yapılan bir çalışmada, uydu verilerinden elde edilmiş üç yağış veri setinin (TRMM, CMORPH, PERSIANN) kullanıldığı bir hidrolojik model kullanılmıştır. Simüle edilmiş akarsu akımları istasyondan alınmış aylık veriler ve ENVISAT radar altimetre verilerinden elde edilen su yüzeyi yükseklik verileriyle birlikte değerlendirilmiştir. Simüle edilmiş toplam su depolaması GRACE uydu verilerinden elde edilen aylık depolama değişimleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda genel olarak ekvatorial bölgeler hariç havzanın büyük bölümünde uygun bir hidrograf üretmek amacıyla bu verilerin kullanılabilmesi belirtilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, uydu veri setleri özellikle CMORPH ve PERSIANN veri setleri ekvator bölgelerinde belirli süreler için makul olmayan yüksek değerler vermektedir (Beighley vd, 2011)

Chen vd (2011)'in yaptıkları çalışma, Güney Çin'de Dongjiang nehir havzasında TRMM 3B42RT ürünleri kullanılarak yağışın gerçek zamanlı izlenmesi, hidrolojik modellemedeki performansı ve gözlenen yağış verileriyle karşılaştırılmasını amaçlamaktadır. Çalışma sonuçları TRMM 3B42RT yağış verilerinin havzada gözlenen yağışla iyi bir korrelasyona ve yüksek hassasiyete sahip olduğunu göstermektedir. Fakat noktasal ölçekte TRMM 3B42RT yağış verilerinin doğruluğunun sınırlı olduğu belirtilmiştir.

Yapılan bir çalışmada, TRMM'den elde edilen uydu tabanlı yağış tahmini ürünlerinin yer tabanlı yağış ölçüm verileri ile farklılıkları karşılaştırılmıştır. Çin'deki Yangtze Nehri'nin alt kısmında bulunan Xinjiang havzasında yapılan bu çalışmada, hidrolojik süreçlerin simülasyonu ve su bütçesi analizleri için farklı zaman ölçeklerinde yağışölçerlerden elde edilen ve TRMM uydusundan temin edilen yağış verileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, günlük zaman dilimi için temin edilen TRMM yağış verilerinin yağışı daha iyi temsil ettiği değerlendirilmiştir. En yüksek günlük ve en yüksek 5 günlük yağışlar arasında büyük farklılıklar saptanmıştır. Aylık zaman ölçeğinde, TRMM yağış verileri ve istasyonlardaki yağışölçerlerden alınan yağış verileri arasında 0.81 ile 0.89 arasında değişen R^2 ile anlamlı doğrusal ilişkiler belirlenmiştir. Fakat R^2 değerleri Yingtian için 0.74 ve Yushan için 0.94 olmasına rağmen TRMM yağış verileri bu alanlarda yüksek tahmin sağlamıştır. Göl havzaları su akım modeli olan WATLAC simülasyon modelinde, günlük yağışölçer verileri ve

TRMM uydusundan elde edilen günlük yağış verileri kullanılmıştır. Çalışmada yağışölçer verilerinden elde edilen simülasyon sonuçları genel olarak TRMM uydusundan elde edilen simülasyon sonuçlarına göre daha iyi bir performans göstermiştir (Li vd, 2012).

Yapılan bir çalışmaya göre, yağışı değerlendirmede Kenya’da bulunan Nyando nehri havzasında dört farklı enterpolasyon tekniği kullanılmıştır. Enterpolasyon 19 yağış istasyonu kullanılarak 30 günlük süre için yapılmıştır. IDW ve küresel polinomial enterpolasyon (GPI) tekniğine karşı iki jeostatistik enterpolasyon tekniği (Kriging ve COK) değerlendirilmiştir. Kriging ve COK yöntemlerinde Tahmin Hatasının Standart Sapması (RMSE) diğer yöntemlere göre daha az hesaplanmıştır. COK yönteminde Sayısal Yükseklik Modeli’nden (SYM) elde edilen yükseklik değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada yükseklik değerlerinin eklenmesiyle uygulanan COK yöntemi tahmin sonuçlarını olumlu düzeyde etkilemiştir (Mutua ve Kuria, 2012).

Yağış verilerinin doğru olarak alınmasının oldukça önemli olduğu vurgulanan çalışmada, yağışın konumsal dağılımını sağlamak amacıyla noktasal ölçümler enterpole edilmiştir. Çalışmanın amacı, yağış ölçümlerinin az olduğu, muson ikliminin hakim olduğu Hindistan Pune şehrinde Mula ve Mutha nehrinin orta ölçekli bir havzasında (2036 km²) farklı yağış enterpolasyon yöntemleri kullanarak konumsal yağış haritaları elde etmektir. Çalışmada 16 yağışölçerden alınan yağış verileri kullanılarak, Thiessen poligonları ve istatistiksel ve jeostatistiksel yaklaşımları içeren 7 farklı yöntem kullanılmıştır. Farklı yöntemler iki aşamalı bir doğrulama yaklaşımı kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda TRMM uydu verilerinden elde edilen yıllık ortalama yağışın kullanıldığı regresyon tabanlı yöntemlerin daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir (Wagner vd, 2012).

Aydın ve Çiçek (2013) tarafından yapılan çalışmada, 1975-2010 dönemine ait 36 meteoroloji istasyonunun verileri kullanılarak Ege Bölgesindeki yıllık ortalama yağışın konumsal deseni ortaya koyulmuştur. Yağış değişiminin modellenmesinde konumsal enterpolasyon tekniklerinden OK ve IDW teknikleri kullanılmıştır. Elde edilen tahmin haritalarının doğruluğu çapraz doğrulama yöntemiyle test edilmiştir. OK yöntemi, IDW yönteminden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, daha doğru tahmin olanağı sunmuştur.

Türkiye’de yapılan bir çalışmada, toplam yağış değerlerinin zamansal, mekansal ve mekansal-zamansal dağılımları ve değişimleri analiz edilmiştir. Çalışmanın ana veri kaynağı meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş aylık yağış değerleri ve bununla mekansal olarak ilişkili olan diğer veri setleridir (yükseklik, yüzey pürüzlülüğü, deniz kıyısına mesafe, akarsu yoğunluğu, bakı, arazi kullanımı ve ekolojik bölge). T testi ve Mann-Kendal testleri Türkiye’nin mevsimsel ve yıllık yağış değerlerinin zamansal değişimini belirlemek için kullanılmıştır. Türkiye’nin uzun yıllar yıllık yağış ölçümlerinin dağılım ve değişimini belirlemek için Çoklu Doğrusal Regresyon, Coğrafi Ağırlıklı Regresyon, Normal kriging, Regresyon kriging ve Genel kriging yöntemleri uygulanmıştır. Mekansal-zamansal analiz olarak Fırat havzasının yıllık yağış değerlerine Normal kriging ve Genel kriging yöntemleri uygulanmıştır. Enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması çapraz yöntemler ile yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, Genel kriging yöntemi öne çıkmıştır. Çoklu Doğrusal Regresyon yöntemi ise en başarısız yöntem olarak ifade edilmiştir. Normal kriging, sadece yükseklik verisi kullanılarak yapılan Genel kriging ve Coğrafi Ağırlıklı Regresyon yöntemleri orta düzeyde sonuçlar vermişlerdir. Regresyon kriging yönteminin Genel kriging yöntemi ile yakın sonuçlar verdiği değerlendirilmiştir (Bostan, 2013).

Özcan vd (2013)’de yaptıkları çalışmada, iklimin zamansal ve mekânsal ölçekte sürekli değişkenlik gösteren dinamik bir yapıya sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada, uzaktan algılama veri seti olarak TRMM 3B42 ürünü, Güneydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki yağış değişkenliğini karakterize etmek amacıyla günlük yersel yağış verileri ile doğrulanmıştır. TRMM uydusundan 1998 - 2012 yılları arasına ait yağış verileri ile 7 adet yersel meteorolojik istasyondan elde edilen yağış verileri karşılaştırılmıştır. TRMM 3B42 uydu verisi ile meteorolojik istasyon verilerinden elde edilen sonuçlar bölgenin genelinde yakın sonuçlar vermiş, bölgenin merkez ilçesinde ve özellikle güneydoğu tarafında farklılıklar belirlenmiştir.

Zhao vd (2013) tarafından su bütçesi modellenmesi üzerine çalışmalar yapılarak konumsal yağış değişkenliğinin etkisi değerlendirilmiştir. Güney Doğu Avustralya’da VIC-3L modeli 60 benzer havzada yağış verisi kullanılarak uygulanmıştır. Farklı değişkenlik derecesi ile konumsal yağış haritaları üretilmiştir. VIC-3L modeli günlük yağış verileri kullanılarak gözlenen günlük akarsu akımlarıyla kalibre edilmiştir. Sonuçlar hidrolojik işlemlerde kullanılan havza karakteristikleri ile konumsal yağış

değişkenliği etkileşimlerinin su dengesi bileşenleriyle aynı olmadığını göstermiştir. Çalışmada su bütçesi modellemede konumsal yağış değişkenliğinin etkisinin yağış değişkenliğinin daha fazla olan havzalarda daha belirgin olduğu ifade edilmiştir. Çalışma sonucunda, çoğu durumda, konumsal yağış verileri su bütçesi modellemenin doğruluğunu geliştirmeye yardımcı olduğu vurgulanmıştır.

Abo-Monasar ve Al-Zahrani (2014) tarafından yapılan çalışmada, Sudi Arabistan'ın Güneybatı bölgesinde yağışın konumsal dağılımları Kriging, COK ve IDW yöntemleri kullanılarak tahmin edilmiştir. 1965-2010 yılları arasındaki dönemde, 47 istasyonda ölçülen yağış kayıtları kullanılmıştır. Çalışmada COK yönteminde kriging ve IDW yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bölgedeki gerçek ortalama yağışlar ve tahmin edilen aylık ortalama yağışlar arasında iyi bir ilişki tespit edilmiştir.

Türkiye'de değişken topografyaya sahip Batı Karadeniz Bölgesinde yapılan bir çalışmada dört farklı yağış ürününün (TMPA versiyon 7 (TMPA-7RT), TMPA araştırma sonrası gerçek zamanlı kalite ürünü (TMPA-7A), CMORPH ve EUMETSAT'ın çoklu sensör yağış tahmini (MPE)) performansı değerlendirilmiştir. Değerlendirme, 2007-2011 dönemi boyunca çeşitli mekansal (noktasal ve grid tabanlı) ve zamansal (günlük, aylık, mevsimsel, yıllık) ölçeklerde gerçekleştirilmiştir. Grid ölçekli değerlendirme için, yağışölçer tabanlı yağış veri kümesi fizyolojik benzerlik prensibine dayalı bir yağış kestirme yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Sonuçlar yağışölçer tabanlı gridlendirilmiş yağış veri kümesinin genellikle yağışı temsil etmede zorluklar yaşadığını göstermiştir. Çalışmada MPA-7RT, TMPA-7A ve MPE ürünlerinin yağışı rüzgârlı bölgelerde yüksek, rüzgârsız bölgelerde düşük tahmin etme eğiliminde olduğu belirtilmiştir. CMORPH ürününün ise, mevsime bakılmaksızın hem rüzgâr alan bölgelerde hem de rüzgâr almayan bölgelerde yağışları düşük tahmin ettiği tespit edilmiştir (Derin ve Yılmaz, 2014).

Ganjiang nehir havzasında yapılan bir çalışma 6 farklı yağış verisinin (TRMM 3B43V6, TRMM 3B42RTV6, CMORPH, GSMaP MWR+, GSMaP MVK+ ve PERSIANN) havzada bulunan yağışölçer verileri ile değerlendirilmesini kapsamaktadır. Çalışmada yağış ürünlerinin performansının bölgeye göre değişiklik göstereceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yağış uydu verilerinin performansının konumsal çözünürlük artarken artmakta, zamansal ölçek artarken ise azalmakta olduğu tespit edilmiştir (Hu vd, 2014).

Pombo ve de Oliveira (2015)'de yapılan bir çalışmada Batı Afrika'daki Angola'da uzaktan algılama sensörü olan TRMM uydusunun 3B42 ürününden elde edilen yıllık en yüksek yağış tahminlerinin doğruluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada TRMM 3B42'den elde edilen yıllık en yüksek yağış tahminleri yerinde yapılan gözlemlerden elde edilen yağış ölçümlerinin biraz üstündedir. En yüksek günlük yağış haritası 20 yıllık bir süre için oluşturulmuştur. TRMM 3B42'den elde edilen yıllık en yüksek yağış 159 yerden alınan yer gözlemlerine dayalı yağış ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. TRMM 3B42 tahmin verilerini test etmek için bir istatistiksel yaklaşım kullanılmıştır. Çalışma sonucunda yer gözlemlerine dayalı olarak elde edilen yağış ölçümlerinin uydu verilerinden elde edilen yağış tahminleriyle istatistiksel olarak iyi sonuçlar gösterdiği saptanmıştır.

Dünya genelinde dokuz farklı dağlık bölgede (Doğu İtalyan Alp, İsviçre Alp, Türkiye'nin Batı Karadeniz, Fransız Cévennes, Peru And, Kolombiyalı And, Nepal'de Himalaya, Doğu Afrika'da Mavi Nil, Tayvan ve ABD Rocky Dağlarında) yapılan bir çalışmada, yüksek çözünürlüklü uydu tabanlı yağış ürünleri, yağışölçer ağlarından elde edilen yağış verileri ile 2000–2013 yılları için değerlendirilmiştir. Çalışmada yağış uydu ürünleri olarak TMPA, CMORPH, PERSIANN, GSMaP kullanılmıştır. Değerlendirme yıllık, aylık ve günlük zaman ölçeklerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları yağış uydu ürünleri performansının yağış değişkenliğine büyük ölçüde bağımlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca çoğu yağış uydu ürününün yağışı genellikle yağışlı ve kurak dönemlerde düşük tahmin ettiği tespit edilmiştir (Derin vd, 2016).

Prakash vd (2016)'da yaptıkları bir çalışmada, Hindistan'ın genelinde yağış tahmininde yoğun olarak tercih edilen TRMM, TMPA ve son yıllarda üretilen GPM uydu verilerinin performansı araştırılmıştır. Çalışmada ilk olarak TMPA verileri 17 yıllık dönem için (1998-2014) analiz edilmiştir. TMPA ve referans yağışölçer verileri yoğun yağış olaylarında aylık süreçte benzerlik gösterirken, yıllık süreçte yağışı yüksek tahmin etmiştir. GPM uydusunun yağış tahminleri üzerine yapılan ilk değerlendirmede güneybatıda Muson ikliminin yaşandığı bir bölgede yoğun yağış döneminde GPM'in TMPA'nın üzerinde bir performans gösterdiği belirtilmiştir. Çalışmadan elde edilen veriler son yıllarda piyasaya sürülen GPM'in uydu gözlemleri kullanılarak hidrolojik modellemeyi geliştirmek amacıyla sıklıkla kullanılabilceğini ifade etmektedir.

Güney Çin’de Ganjiang nehir havzasında yapılan bir çalışmada, TRMM 3B42V7, 3B42RT ve bunların devamı niteliğinde olan GPM-IMERG verileri yağışölçer verileriyle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda uydu yağış verilerinin havza ölçeğinde kabul edilebilir düzeyde bir performans gösterdiği ve 3B42RT’nin yağışı yüksek tahmin ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çalışmada GPM-IMERG ürünlerinin TRMM ürünlerine göre daha iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir (Tang vd, 2016).

Sınırlı sayıda yağışölçer ağlarının yer aldığı Türkiye’de yapılan bir çalışmada, Karpuz Havzası’ndaki akarsu taşkınlarını simüle etmede uydu tabanlı yağış tahminleri değerlendirilmiştir. GSMaP ürünleri, günlük ve aylık zaman ölçeklerinde mevsimselliği, yükseklik dağılımını ve ekstrem yağış olaylarını dikkate alarak yağışölçer verileri ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel analizler GSMaP ürünlerinin yağışölçer verileri ile kabul edilebilir doğrusal bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, GSMaP ürünlerinin yağışı önemli oranda düşük tahmin ettiği tespit edilmiştir. GSMaP verileri ile Hidrolojik Nehir Havzası Çevresel Değerlendirme Modeli (Hidro-BEAM) taşkınları simüle etmek için uygulanmıştır. Taşkın olayları için hidrolojik model 2007 ve 2012 yılları Ekim-Aralık döneminde kalibre edilmiş ve 2009 ve 2010 yılları Ekim-Aralık döneminde ise doğrulanmıştır. Çalışmanın sonucunda ekstrem yağış olayları ve yükseklik değişkenliği gibi, hataya neden olan faktörlerin taşkın simülasyonlarını geliştirmek için yüksek bir potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir (Saber ve Yilmaz, 2018).

Güney Çin’de nispeten düz olan Ganjiang Nehri havzasında yürütülen bir araştırma yağışölçer verilerini kullanarak GPM-IMERG değerlendirmek ve yağışölçer verilerinin hatalarını belirlemek amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda uydu yağış ürünlerinin beklenenden iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında uydu yağış ürünlerinin her bir hücreğine (piksel) denk gelen sınırlı sayıda yağış ölçüm verisi bulunması durumunda uydu ürünlerinin doğruluğunun daha düşük olarak tahmin edileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada havzada az sayıda bulunan yağışölçerlerden alınan verilerin yağışın alansal dağılımını etkin bir şekilde belirlemeyeceği ortaya konmuştur (Tang vd, 2018).

2.2. Buharlaşma-Terleme Konusunda Yapılmış alışmalar

Bastiaanssen vd (1998a) tarafından yapılan bir çalışmada uzaktan algılanmış verilere dayalı termal bant verisinin kullanıldığı SEBAL modelin temel formülasyonu sunulmuştur. Yeni algoritma modeli, temel hidro-meteorolojik parametrelerin konumsal olarak dağılımını formüle etmekte ve sadece bitki yüksekliği Yüzey Sıcaklığı (T_s) konusunda saha bilgisi gerektirmektedir. Aynı zamanda çalışmada modelin toprak örtüsünden bağımsız olarak ısı akılarını hesapladığı ve ET'nin konumsal ve zamansal olarak haritalanmasına olanak sağladığı vurgulanmıştır.

Bastiaanssen vd (1998b) yaptıkları çalışmayla SEBAL modelini Etiyopya, İşpanya ve Çin' de gerçek veriler kullanarak uygulamışlardır. Sonuçlarına göre SEBAL modeli ile elde edilen ET değerleri gerçek verilerle olduğa uyumludur.

Bastiaanssen (2000)'de yaptığı çalışmada, Türkiye-Gediz Havzası için hissedilebilir ısı akısı ve gizli ısı akısını (sırasıyla H ve LE) SEBAL modeli kullanarak tahmin etmiştir. SEBAL modeli için, Landsat 5 TM uydusuna ait görüntüler girdi olarak kullanılmıştır. Çalışmada Haziran ve Ağustos ayları arasında ısı akılarının değişkenliği değerlendirilmiştir. Ayrıca bitki su stresi, radyasyon ve ısı akılarının sulamaya etkileri tartışılmıştır.

Bastiaanssen ve Bantara (2001) Sri Lanka' da bulunan bir havzada yaptıkları araştırmada uzaktan algılama teknikleriyle sulu tarım alanlarında ET miktarını tahmin etmişlerdir. Bu amaçla çalışmada Landsat TM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma sahasında bulunan çok sayıda bitki çeşidinden gerçekleşen ET SEBAL yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, havza su bütçesinden hesaplanan ET ile uzaktan algılama tekniklerinden elde edilen ET arasında % 4 farklılık belirlenmiştir.

Güney Idaho' da yapılan bir çalışmada METRIC modeli kullanılarak Landsat 5 uydu görüntülerinden mevsimlik ve aylık ET tahmin edilmiştir. Çalışmada elde edilen ET haritaları Idaho'da bir alanda yer altından çekilen su miktarını belirlemek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, METRIC modelinin büyüme mevsimi boyunca sulanmış alanlardan gerçek ET miktarını tahmin etmek için pahalı olmayan tekniklere dayandığı belirtilmiştir (Allen vd, 2005).

Tasumi vd (2005)' de yaptıkları çalışmada Batı Amerika Birleşik Devletleri' nde enerji dengesine dayalı olan SEBAL ve METRIC kullanılarak tahmin edilen ET değerleri ile tarımsal alanlarda lizimetreyle ölçülen ET değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda uzaktan algılama modelleri olan SEBAL ve METRIC modellerinin hesaplama sonuçlarının yarı kurak alanlarda ET' nin başarılı olarak tahmin edilmesinde yüksek bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

Allen vd (2007b) enerji dengesi ve uzaktan algıma tekniklerine dayanan SEBAL modeli temel alınarak geliştirilen METRIC modelinin esaslarını vermektedir. Çalışmada METRIC modelinin her bir aşamada nasıl çalıştırılacağı, varsayımları ve kabulleri, gereksinim duyulan veri setleri detaylı bir biçimde verilmiştir.

Tasumi ve Allen (2007) ılıman ve yarı kurak iklime sahip Güney Idaho' da yaptıkları çalışmada kuru fasulye, pamuk, patates, şeker pancarı, buğday ve arpa gibi bitkilerden gerçekleşen ET' nin gelişme dönemleri boyunca uzaktan algılama tekniğine dayalı bir biçimde izlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucu Güney Idaho bölgesinde, erken ekilen bitkilerin, çoğu ana ürün türüne kıyasla % 6-10 oranında daha fazla su tükettiğini göstermiştir.

Gowda vd (2008a) yaptıkları derlemede uzaktan algılama tekniklerine dayalı ET hesaplama amacı ile geliştirilen modellerin tarımda sulama suyu yönetiminde kullanımı değerlendirilmiştir. Bu modellerin doğruluk seviyelerinin günlük ET hesabında % 67.0–97.0 arasında, mevsimlik ET hesabında ise % 94.0' ün üzerinde olduğu belirtilmiştir.

Stisen vd (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Batı Afrika' daki Senegal nehir havzasında hidrolojik bir modelin girdi verileri olarak uzaktan algılama tekniklerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışmada yağış verileri, potansiyel ET ve yaprak alan indeksini (YAI) tahmin etmek için kullanılan parametrelerle birlikte, uzaktan algılama verilerinden yararlanılmıştır. Uzaktan algılama verileri METEOSAT-7 ve AVHRR sensörlerinden elde edilmiştir. Hidrolojik bir model olan MIKE-SHE 1998-2005 yılları arasında gözlenen değerlere karşı altı ayrı alt havza için kalibre edilmiştir. Simüle edilmiş gerçek ET nokta ölçeğinde ölçümlerden elde edilen ET ile karşılaştırılmıştır. Model genellikle RMSE, su bütçesi hatası (WBE) ve R hesaplamalarına göre iyi bir performans göstermiştir. Çalışma sonucunda, uzaktan algılama teknikleriyle elde edilen sonuçların geleneksel verilere benzer bir performans

sergilediği saptanmıştır. Ayrıca çalışmada büyük ölçekli havzalarda uzaktan algılama verileri kullanılarak hidrolojik modellerin yaygın olarak kullanılabilmesi için açık bir şekilde ifade edilmiştir.

Droogers vd (2010)' de, uzaktan algılanmış veriler kullanılarak elde edilen ET değerleriyle gerçekleşen sulama uygulamalarının tahmin edilebilme olanağını değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, uzaktan algılama verileri kullanılarak hesaplanan ET değerlerinin % 90' nın üzerinde doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir.

Santos vd (2010) tarafından METRIC modeli kullanılarak hesaplanan ET değerlerinin sulu tarım alanlarında su yönetiminde kullanımı araştırılmıştır. Bu yolla belirlenen ET değerlerinin uygulanan sulama suyu miktarları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Modelin sulu tarım alanlarında su bütçesi çalışmalarında kullanılma potansiyeli olduğu değerlendirilmiştir.

Ha vd (2011)'de yaptıkları çalışmada termal bant verisine sahip Landsat 5 TM ve MODIS (960 m çözünürlüklü) uydularının kullanıldığı çalışmada, Landsat 5 TM uydusu için hesaplanan normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI) verileri kullanılarak MODIS TIR bandı için çözünürlük artırılmıştır. Çözünürlük arttırmada TsHARP tekniği kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bu yolla elde edilen TIR bant verisi ile oluşturulan ET haritalarının sulama suyu yönetimi amacı ile kullanım potansiyeline sahip olduğu ve bu alanda daha fazla araştırma çalışmalarının yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Yapılan bir çalışmada, uydu verileri ve yer destekli gözlemlere dayanan veriler birleştirilerek 7 farklı nehir havzasında (Mackenzie, Fraser, Nelson, Mississippi, Tocantins, Danube ve Ubangi) su bütçesi yaklaşımıyla ortalama ET tahmin edilmiştir. Bu çalışmada TRMM uydusundan elde edilen yağış verileri, daha önceden ölçülerek arşivlenmiş yüzey akış verileri ve GRACE uydu sisteminden elde edilen karasal su depolaması değişimleri kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, su bütçesine dayalı aylık ortalama ET tahminlerinin belirsizliğinin genellikle yıllık ortalama ET tahminlerinden çok daha büyük olduğu belirtilmiştir. Çalışmada beş farklı arazi yüzeyi simülasyon modeli değerlendirilmiştir. Biri Brezilya'da diğeri de Orta Afrika'da olan iki tropik nehir havzasında, su bütçesine dayalı ET zaman serilerinin yıllık döngüsü bu çalışmanın önemli sonuçlarından. Ayrıca çalışmanın su ve enerji bütçesi

çalışmalarında, hava ve iklim modellerinin değerlendirilmesinde ve uydu verilerine dayalı ET'nin belirlenmesinde yararlı olduğu açıkça belirtilmiştir (Rodell vd, 2011).

Anderson vd (2012)'de su kaynaklarının yönetimi ve ET' nin izlenmesinde Landsat 5 termal görüntülerinin kullanım olanakları araştırılmıştır. Yapılan bu derleme ile orta çözünürlüklü termal görüntüye sahip olan uydu görüntülerinin su yönetiminde kullanım olanakları detaylı bir biçimde ortaya koyulmuştur.

Aksu, 2012'de Aşağı Büyük Menderes havzasında yapılan bir çalışmada, MODIS sensöründen ve havzada yer alan meteoroloji gözlem istasyonlarından elde edilen veriler METRIC modelinde değerlendirilerek, 1 Nisan-30 Eylül 2010 dönemi için gerçek ET haritaları günlük ve aylık olarak üretilmiştir. Elde edilen haritalar havzada mevcut buharlaşma tavası verileri ve meteorolojik parametreler yardımıyla hesaplanan ET verileriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları gözlenmiştir. Çalışma sonucunda üretilen haritalardan ET'nin zamana ve mekana göre büyük değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada ET tahmininde kullanılan METRIC modelinde kalibrasyon uygulamasında yarı otomatik bir yöntem olan CIMEC kullanılmıştır. METRIC modelinde kalibrasyon işleminde kullanılan iki uç koşul, ET' nin hemen hemen hiç olmadığı kurak koşulları ve ET' nin en yüksek olduğu sulu tarımın yapıldığı koşulları temsil etmektedir. Görüntüdeki tüm hücrelerden en iyi doğrulukla seçim yapmak genellikle kullanıcı müdahalesini gerektirmektedir. Bu çalışmada bir görüntü işleme aracında (ERDAS Imagine vb.) çöl iklimleri ve kurak bölgeler için ayarlamaları da kapsayan istatistiksel bir yaklaşım tanımlanmıştır (Allen vd, 2013).

Aydoğan (2013)'ün yaptığı çalışmada Amasya ili merkez Sevincer köyü ve Amasya ili Merzifon ilçesine bağlı Çayırözü köyünde 2008 yılında inşa edilen toplu sulama şebekeleri sulama sahalarının önceki ve sonraki durumları değerlendirilmiştir. Bu amaçla 2007 ve 2010 yılları için uzaktan algılama teknikleri kullanılarak ET haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, uzaktan algılama tekniklerinin sulu tarım alanlarında ET' nin işletmeler arasında ve zaman içerisinde değişiminin izlenmesinde önemli olanaklar sunduğu açıkça belirtilmiştir.

Samsun ili, Kavak İlçesi Minöz Deresi Havzası'nda yapılan bir çalışmada 2007 su yılı içerisinde Mayıs-Eylül arasındaki aylar için, enerji dengesi tabanlı METRIC modeli kullanılarak aylık ET haritaları hazırlanmıştır. Çalışmaya göre ET haritaları

havzanın bitki örtüsü, arazi kullanım durumu ve aynı zaman diliminde havzada ölçülen yağış ve yüzey akış parametreleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen ET değerlerinin arazi kullanım durumu ile önemli ölçüde uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Ancak tahmin elde edilen ET değerlerinin gerçekleşen ET değerlerinin bir miktar üzerinde olduğu değerlendirilmiştir (Çetin, 2013).

Alanı 1.160.000 km² olan Indus Havzası'nda yapılan bir çalışma, su verimliliği, depolamadaki değişimler ve su kaynaklarının tükenmesi üzerine yeni bir yaklaşım olan su bütçesi çerçevesinin (WA+) bir uygulamasını göstermektedir. Çalışmada WA+ ile su bütçesinde havza çıkışında ölçülen akıma ek olarak, uydu verilerine dayalı tahminler (arazi kullanımı, buharlaşma (E), terleme (T) ve biyokütle üretimi vb) kullanılmıştır. Yaklaşım mevcut sorunları tanımlamak ve geleceğe yönelik yeni çözümler üretmek amacıyla çalışılmıştır. Sonuç olarak seçilen bir yıl için (2007) havzadaki (501 km³) toplam yıllık su tüketimi belirlenmiştir. Su depolama sistemlerinin yeraltı suyu depolaması (30 km³), yüzey suyu depolaması (9 km³) ve buzullar ve kar depolamasından (2 km³) etkilendiği belirlenmiştir. Yağıştan kaynaklanan ET veya peyzaj alanlarındaki ET değerleri 344 km³ (toplam tüketimin % 69'u) olarak tespit edilmiştir (Karimi vd, 2013b).

Karimi vd (2013a)'de bir su bütçesi yaklaşımı olan WA+'ı tanıtmak amaçlanmıştır. Karmaşık nehir havzalarında su kullanımı ve net çekilme işlemleri üzerine konumsal bilgi sağlamak üzere bu yeni çerçeve tasarlanmıştır. WA+ su döngüsü üzerine arazi kullanımı ve peyzaj alanlarındaki ET'nin etkisini kullanarak buna bağlı olarak arazi kullanım gruplarını tanımlamaktadır. WA+ çerçevesi dört aşamayı içermektedir. Bunlar kaynak tabanlı aşama, ET aşaması, üretim aşaması, çekilme aşamasıdır. Her bir aşama su kaynaklarının genel durumunu özetleyen bir dizi göstergiyi kapsamaktadır. Dışsal (örneğin iklim değişikliği) ve içsel etkiler (örneğin altyapı) WA+'daki göstergelerdeki değişimlerin incelenmesi ile tahmin edilebilmektedir ve uydu görüntüleri ile gerekli verilerin büyük bir kısmı belirlenebilmektedir. Hidrolojik modeller ve su dağıtım modellerinden elde edilen veriler de WA+ için girdi olarak kullanılabilir.

Zamansal ve konumsal olarak ET' nin haritalanmasına olanak sağlayan SEBAL modelin kullanıldığı bir çalışmada, genelleştirilmiş analitik denklemler önerilerek SEBAL modele uydu görüntüsünün konumsal çözünürlüğünün ve çalışma alanının büyüklüğünün etkisi araştırılmıştır. Bu analitik eşitlikler Ocak 2010'dan Ekim 2011'e

kadar açık gökyüzü koşullunda çekilmiş 23 MODIS uydu görüntüsü ile doğrulanmıştır. Özellikle çalışma alanından seçilen sıcak ve soğuk hücrelerin, uydu görüntüsünün çözünürlüğüne ve çalışma alanının büyüklüğüne bağlı olduğu ifade edilmiştir. Çalışmada SEBAL modelinde çalışma alanının büyüklüğünün değiştirilmesinin etkileri özetlenmiştir. Benzer şekilde analitik denklemlerin uydu görüntüsünün konumsal çözünürlüğünün ET haritasına etkisini belirlemek için kullanılabileceği ifade edilmiştir (Tang vd, 2013).

Havza ölçeğinde ET' nin tahmin edilmesinin oldukça zor olduğu belirtilen bir çalışma veriye yerinde ulaşmanın mümkün olmadığı Tibet Platosu'nda Yellow ve Yangtze nehir havzalarında ET' yi bir su bütçesi yöntemi ile tahmin etmeyi kapsamaktadır. Çalışmada Zhang (Zhang-ET), MODIS (MODIS-ET), Japonya'ya 25 yıllık analiz sonuçları (JRA-ET) ve Noah Arazi yüzey Modeli-2 ile yeni yayınlanan küresel arazi veri asimilasyon sistemi (GLDAS-ET)' den elde edilen dört farklı ET tahmini su bütçesi yönteminden elde edilen ET değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. GLDAS-ET ve Zhang-ET Sarı Nehir havzası ve Yangtze nehir havzası için iyi bir performans göstermiştir. JRA-ET'nin yüksek tahminine ise, kısa dalga boylu radyasyonun fazla olmasının neden olduğu ifade edilmiştir. MODIS-ET her iki havzada da ET'nin yüksek tahminine yol açmıştır (Xue vd, 2013).

Yer verilerinin kısıtlı olduğu Tanzanya'da bulunan Rufiji havzasında yapılan bir çalışmada, uzaktan algılama tekniklerine dayalı hidrolojik bir bütçe modeli araştırılmıştır. Bu model su bütçesi elemanları olan yüzey akış, yağış, depolamadaki değişim ve ET'nin dengesine dayanmaktadır. Çalışmada yağış verileri TRMM uydusundan, depolamadaki değişim verileri GRACE'den ve ET verileri MODIS uydusundan, T_s ve Oransal Nem (RH) atmosfer kızılötesi radyasyon ölçerden (AIRS) ve Net Radyasyon (R_n) yüzey radyasyon bütçesinden (SRB) elde edilmiştir. Yer ölçümlerinin bulunduğu Rufiji'nin bir alt havzası olan Usangu havzası için ölçülen yüzey akışa karşı su bütçesi eşitliğinden elde edilen yüzey akış test edilmiştir ($R^2=0.58$, eğim = 1.9, RMSE=29 mm/ay). Ayrıca CBS kullanılarak ArcCN yüzey akış modeli de test edilmiştir ($R^2 = 0.64$, eğim = 0.43, RMSE= 39 mm/ay). Hidrolojik bileşenlerin her biri için hata yayılma analizi yapılmıştır. Uzaktan algılamaya dayalı olan bu modelde hataya en duyarlı parametrenin ET olduğu saptanmıştır. Fakat model mevsimsel olarak değerlendirildiğinde ise en duyarlı parametrenin depolamadaki değişim olduğu görülmüştür. Bu çalışma sonuçları uzaktan algılama ve CBS'ye dayalı

tekniklerin su kaynakları yönetiminde uzun vadeliden daha çok kısa vadeli politika belirlemede daha fazla kullanılabilir olduğunu göstermiştir (Armanios ve Fisher, 2014).

Cammalleri vd (2014) çalışmasında, Landsat 5 ve MODIS uydusundan alınan uydu görüntüleri kullanılarak STARFM olarak adlandırılan veri birleştirme yöntemi kullanılmışlardır. Bu modelin performansı yağışa dayalı üretim yapılan ve sulu tarım yapılan alanlarda değerlendirilmiştir. Çalışma yarı-kurak alana sahip Bushland bölgesi, Teksas ve NE'de bulunan ılıman iklim özelliğine sahip Mead bölgesinde uygulanmıştır. Çalışmada Mead bölgesi sulu tarım yapılan ve yağışa dayalı üretim yapılan alanların her ikisinde de yaklaşık 0.9 mm/gün farkla benzer performans göstermiştir. Ayrıca sulamadan sonra ET tahmin etmede modelin yetersiz olmasının MODIS uydu görüntüsü yersel çözünürlüğünün düşük olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bölgede sulu tarım yapılan alanlar, küçük (yaklaşık 5 ha) olduğundan 1 km²'lik çözünürlüğe sahip MODIS uydusundan elde edilen ET haritalarında tam olarak tespit edilememiştir. Sonuç olarak bu çalışmada veri birleştirme tekniğinin tarımsal alanlarda daha iyi bir performans göstereceği ifade edilmiştir.

Karimi (2014b) tarafından yapılan bir doktora tezi çalışmasında, bir su bütçesi yaklaşımı olan WA+ kullanılmıştır. Bu tezde WA+ yaklaşımı 1.160.000 km²'lik alana sahip Indus Havzası için uygulanmıştır. Bu pilot çalışma özellikle yer verisinin az olduğu alanlarda, su kaynaklarının yönetimi ile ilgili ihtiyaç duyulan bilgileri ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Yaklaşımın hesaplama sonuçlarının avantajları olduğu gibi dezavantajları olduğu da belirtilmiştir. Hesaplama sonuçları kapalı bir havza olan Indus Havzası'nda kullanılabilir suyun % 95'den daha fazlasının tükendiğini göstermiştir. Bu tüketimin büyük bir kısmının su tablasının yüksek olduğu alanlarda topraktan buharlaşmanın fazla olmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Zeytin bahçeleri için yapılan bir çalışmada, T_s'nin radyometrik hesaplamasında bitki örtüsü sıcaklığı (T_c), gölgelenen toprak yüzeyinin sıcaklığı ve güneş alan toprak yüzeyi gibi üç koşulu dikkate almak gerektiği belirtilmektedir. Çalışmada yaprak alan indeksi ve T_s METRIC modelinden elde edilmiştir. Güney Portekiz'de zeytin ağaçlarında iki yıl boyunca uydu görüntülerinden METRIC modeli kullanılarak tahmin edilen ET ile yer gözlemlerine dayanan ET karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar T_s tahmininde üç koşul dikkate alındığında, METRIC modelinin kullanılmasında ET tahminlerinin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Buna ek

olarak, çalışmada METRIC modelinin, sulama suyu kullanımı ve yönetimini geliştirmek için zeytin bahçelerinde, ET haritalamada kullanılabilir olduğu ifade edilmiştir (Pocas vd, 2014).

Templeton vd (2014) Jornada'da küçük bir havzada yaptıkları çalışma yağışölçer verileri, toprak profil verileri, savak ölçüm verileri ve bir Eddy kovaryans kulesinden alınan verilere dayanmaktadır. Toprak neminin ve yüzey akışın zamansal ve konumsal değişkenliği Haziran 2010'dan Eylül 2011'e kadar değerlendirilmiştir. Buna ek olarak, kule ölçümleri arazi ve atmosfer ilişkilerine dayalı akılardaki mevsimsel, aylık ve anlık değişimleri değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucu su ve enerji akılarının mevsimselliğe bağlı olduğunu göstermektedir.

Kuzeybatı Çin'de Xinjiang'da Taklamakan'ın pamuk tarlalarında yürütülen bir çalışmada 3T modelini değerlendirmek için Eddy Kovaryans sistemin'den elde edilen ET verileri kullanılmıştır. Buna ek olarak geleneksel SEBAL modeli ile simüle edilmiş ET verileri karşılaştırılmıştır. Radyasyon ve T_s verileri 2013 yılındaki bulutsuz günlerde temin edilen hiperspektral ve termal infrared görüntülerden elde edilmiştir. Görüntüler pamuğun dört farklı fenolojik döneminde alınmıştır. Meteorolojik veriler pamuk alanlarının merkezinde bulunan otomatik kayıt eden istasyonlardan temin edilmiştir. Sonuçlar 3T modelinin ET' de günlük ve mevsimlik değişimleri doğru olarak belirleyebildiğini göstermiştir. Düşük kuraklıktaki toprak sıcaklıkları 3T modelinde önemli hatalara neden olmuştur ve 3T modelinin sabah erken saatler ve akşam geç saatlerde ET' nin tahmini için uygun olmadığı tespit edilmiştir. 3T modelinde rüzgâr hızının (u_2) ET' nin sınırlayıcı bir faktörü olmadığı belirlenmiştir. T_s ' nin modelde ET' yi doğrudan etkilediği, u_2 'nin ise ET' yi dolaylı olarak etkilediği tespit edilmiştir. 3T modeli diğer modellere göre ET' yi daha yüksek tahmin etmesine rağmen, model SEBAL modeli ve Eddy Kovaryans ile karşılaştırıldığında, genellikle gündüz saatlerinde güvenilir olduğu belirlenmiştir (Zhou vd, 2014).

Su kaynaklarının sürdürülebilir olarak yönetimini sağlamak için Uluslararası Su yönetim Enstitüsü (IWMI) tarafından geliştirilen yaklaşımlar ve diğer su bütçesi yaklaşımları bir araya getirilerek, yeni bir bütünleşmiş su bütçesi çerçevesi oluşturulmuştur. Çerçeve girdi verisi olarak uydu tabanlı ölçümler kullanmak üzere tasarlanmıştır. Yapılan çalışmalarda, sadece uydu verilerinin kullanılması ile ilgili genel kaygının, verinin doğruluğuna ilişkin olduğu ifade edilmiştir. Buna göre kullanılan uydu bazlı tahminlerin (ET, yağış, arazi kullanımı, arazi örtüsü vb.)

doğruluğu konusunda kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Literatürde yer verilen sonuçlar uydu verilerine dayalı ET, yağış ve arazi kullanım sınıflandırması üzerine ortalama mutlak hatanın sırasıyla % 5.4, % 18.5 ve % 14.6 olduğunu göstermiştir. En büyük hata yağışla ilişkilidir. Bu nedenle uydu verilerine dayalı elde edilen yağış verilerinin bölgesel ve küresel ölçekte kalibrasyonunun yapılmasının doğruluğu arttırabileceği belirtilmiştir. Uydu verilerine dayalı ET tahmininde hata oldukça düşüktür. Çalışma sonucunda uzaktan algılamaya dayalı olarak tahmin edilen ET' nin hidrolojik simülasyonları kalibre etmek için bir araç olabileceği vurgulanmıştır. Aynı zamanda ET' nin hidrolojik modellere girdi olarak güvenli olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Bununla birlikte, uydu verilerine dayalı olarak tahmin edilen ET' nin mevcut potansiyeli ve doğruluğu hidrolojik çalışmalarda kullanılabilir olduğunu göstermektedir. WA + yaklaşımında mevcut hatanın % 14,6'sının arazi kullanım sınıflandırmasından geldiği belirtilmektedir. Bu doğruluk seviyesi kabul edilebilir olmasına rağmen, geliştirilmesi amacıyla yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır (Karimi vd, 2015; Karimi ve Bastiaanssen, 2015).

Güney Kore'de büyük bir havzada (99900 km²) yapılan bir araştırmada günlük ET' nin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Uydu verilerine dayanan SEBAL modeli kullanılmıştır. SEBAL modeli 3 noktada (ikisi karışık orman ve birisi çeltik) bulunan Eddy Kovaryans sistemi ile 2 yıl (2012–2013) süreyle kalibre edilmiştir. Model için ana girdiler MODIS uydu verisinden elde edilen T_s, emissivite, NDVI, albedo (α), SYM, 76 farklı meteorolojik istasyondan elde edilen u₂ ve güneş radyasyonu (R_s) verileridir. T_s verileri bulutlar ve/veya kar nedeniyle kullanılmadığında meteorolojik istasyonlardan temin edilen düzeltilmiş sıcaklık değerleri kullanılmıştır. NDVI ve α orijinal zaman aralığı yerine aylık ortalama değerler olarak kullanılmıştır. SEBAL ve akı kulesinden elde edilen ET arasındaki R² değeri iki karışık orman vejetasyonları için 0.45–0.54 arasında, çeltik alanı için 0.79 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda düze yakın alanlarda ET değerlerinin yüksek olan yerlere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Lee ve Kim, 2016).

Koksal vd (2017)'de yaptıkları çalışmada yarı nemli iklime sahip Bafra'da saatlik iklim verilerini ve ETr tahmin etmek için yapay sinir ağları tekniğini kullanmışlardır. Modellenen saatlik iklim verileri ve ETr verileri Landsat 5 TM uydu görüntüsünden ET haritaları üretmek için girdi olarak kullanılmıştır. ET haritası elde etmek için enerji dengesine dayalı METRIC modelinden yararlanılmıştır. Çalışma

sonucunda modellenen iklim verileri ve ETr değerlerinin saatlik iklim verilerinin eksik olduğu veya ölçülemediği bölgelerde ET haritalamada kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada kapalı havzalar için uzaktan algılanmış verilere dayalı bir su bütçesi modeli değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışmada tatlı ve tuzlu su yüzeylerinden gerçekleşen ET değerleri SEBAL model kullanılarak tahmin edilmiştir. Ayrıca gölün etrafına ölçüm istasyonları yerleştirilmiştir. Çalışmada gözlemlenen ve tahmin edilen gerçekleşen ET miktarları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda gözlemlenen ve tahmin edilen ET karşılaştırmalarının büyük oranda uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Bagheri vd, 2017).

Bhattarai vd (2017)'de yapılan bir çalışmada SEBAL ve METRIC modellerinin kullanılmasında gerekli olan sıcak ve soğuk hücrelerin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım olan Kapsamlı Arama Algoritması Tekniği kullanılmıştır. Tamamen otomatik olan bu model farklı arazi örtüsüne sahip nemli Florida veya nispeten daha kuru Oklahoma'da bulutsuza yakın 134 Landsat görüntüsüne uygulanmıştır. Her bir görüntü 4 Edy Kovaryans akı ölçüm bölgesini kapsamaktadır. Sıcak ve soğuk hücrelerin otomatik olarak belirlendiği T_s hücreleri manuel olarak tanımlanan T_s hücrelerinin % 0.25'i olarak tespit edilmiştir (R^2 ve $NSE \geq 0.98$ ve $RMSE \leq 1.31$). Tamamen otomatik olan bu model (Allen vd, 2013)'de detayları verilen yarı otomatik yöntemine göre daha iyi performans ve tutarlılık göstermiştir. Bütün çalışma alanında gözlenen ET tahminleri otomatik ve manuel hücre seçiminde benzer sonuçlar vermiştir. Çalışma sonucunda otomatik hücre seçimi yaklaşımının SEBAL ve METRIC modeli uygulamalarında önemli derecede zaman tasarrufu sağlayacağı, bu sayede kullanıcıların modelleri daha yaygın ve sık olarak kullanacağı değerlendirilmiştir.

Numata vd (2017)'de yaptıkları çalışmada uydu görüntülerinden Amazon ormanlarındaki ET' nin tahmin edilmesi ve arazide ölçülen akı kulelerindeki ET ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada uydu görüntülerinden ET' nin tahmin edilmesi için yüzey enerji dengesine dayanan METRIC modeli kullanılmıştır. Çalışma, 2000-2002 yıllarında Amazon ormanlarının güney batısında yer alan Rondonia tropik ormanlarında Haziran ayından Eylül ayına kadar olan süre için günlük, aylık, mevsimlik ölçekte karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda METRIC ile tahmin edilen günlük ET' nin günlük akı kulelerinde ölçülen ET ile

uyumlu olduğu ve $R^2=0.64$, $RMSE=0.81$ mm olarak hesaplanmıştır. Mevsimlik hesaplanan METRIC ET ile akı kulelerinde ölçülen ET'nin uyumlu olduğu ($R^2>0,70$ ve Mutlak Ortalama Hata (MAE) <15 olarak hesaplanmıştır.

Wagle vd (2017)'de yapılan bir çalışma 2012 ve 2013 yılları boyunca yetiştirme sezonlarında yüksek biokütleyle sahip sorgum alanları üzerinde yapılmıştır. ET tahmininde tek kaynaklı 5 farklı yüzey enerji dengesi modelinin (SEBAL, METRIC, SEBS, S-SEBI, SSEBop) performansları değerlendirilmiştir. 19 adet bulutsuz Landsat 8 görüntüsü için tahmin edilen ET değerleri, ölçülmüş Eddy Kovaryans ET değerleriyle karşılaştırılmıştır. Genel olarak, S-SEBI, SEBAL ve SEBS modelleri çalışma dönemi için oldukça iyi bir performans gösterirken, METRIC ve SSEBop modelleri diğer modellere göre daha düşük performans göstermiştir. Tüm yüzey enerji dengesi modelleri aşırı kurak koşullar altında önemli ölçüde fazla ET hesaplamışlardır. Çünkü modeller kurak koşullar altında, mevcut enerjinin bölünmesi sırasında H'yi düşük olarak, LE' yi yüksek olarak tahmin etmiştir. Çalışmada METRIC, SEBAL ve SEBS modelleri ile ET kurak ve nemli dönemler dikkate alınmaksızın yüksek tahmin edilmiştir. Çalışma sonucunda, METRIC, SEBAL ve SEBS modellerinden tahmin edilen mevsimlik toplam ET her iki sezonda da Eddy Kovaryans ile hesaplanan mevsimlik toplam ET' den daha yüksek olduğu belirtilmiştir. S-SEBI ve SSEBop modellerinde ET Eddy Kovaryans ile hesaplanan ET' den düşük tahmin edilmiştir. S-SEBI ve SSEBop modellerinde tahmin edilen ET' nin nispeten daha nemli olan 2013 yetiştirme sezonunda eddy kovaryans ile hesaplanan ET' den daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda özellikle çok kurak ve nemli koşullarda, model performanslarının iyileştirilmesi için yüzey enerji dengesi modellerinde toprak nemi veya bitki su stresi bileşenlerinin de izlenmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

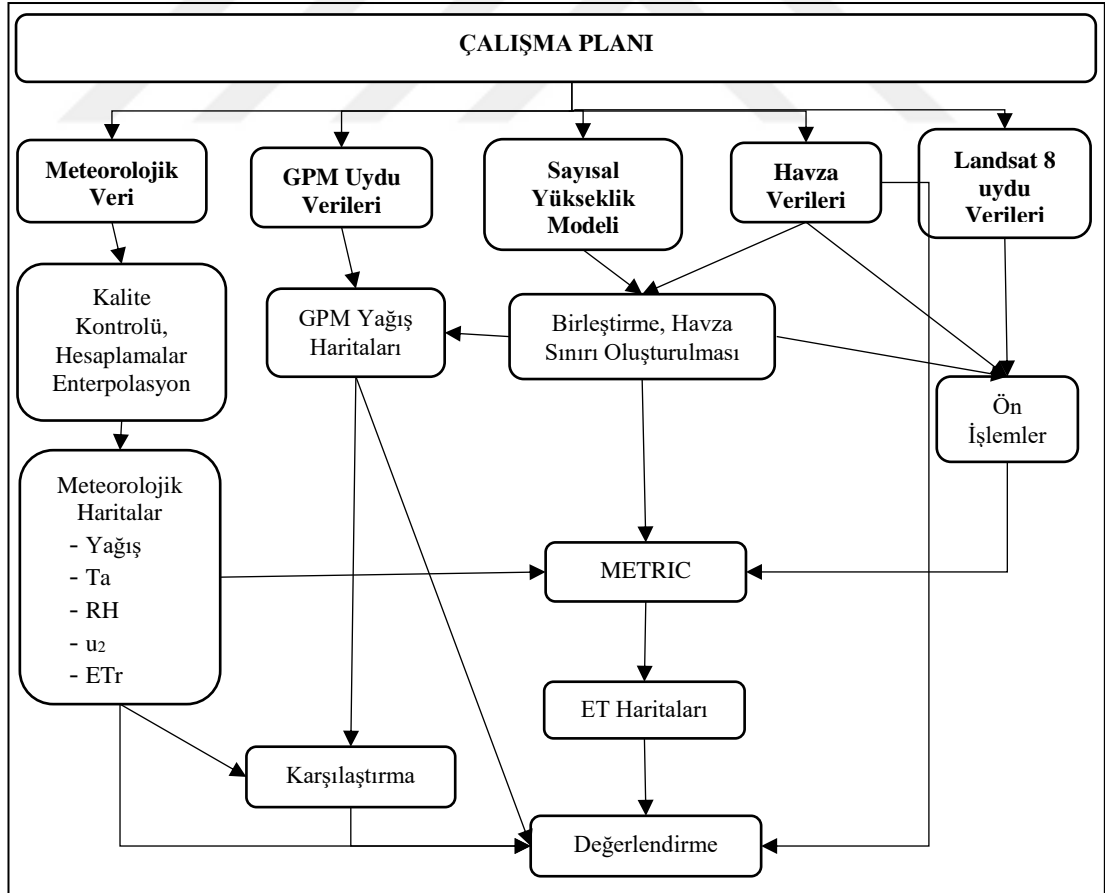
Losgedaragh ve Rahimzadegan (2018)'de İran'da Amirkabir Barajı'nda yapılan bir çalışmada, SEBAL, METRIC ve SEBS modelleri kullanarak su yüzeylerinden buharlaşmayı araştırılmıştır. Baraja yakın yarı-kurak iklime sahip tarım alanları çalışma alanı olarak seçilmiş ve 2011' den 2017' ye kadar olan zaman dilimi değerlendirilmiştir. Çalışmada 16 adet Landsat 5 TM uydu görüntüleri kullanılmıştır. Yer doğrulaması olarak ise pan buharlaşma kabı ölçümleri kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, modeller ve buharlaşma kabından elde edilen buharlaşma miktarları karşılaştırıldığında, R^2 ve RMSE değerleri sırasıyla SEBAL modelde 0.36 ve 5.1 mm, METRIC modelde 0.57 ve 2.02 mm ve SEBS modelde 0.93 ve 0.62 mm olarak

hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda su yzeylelerinden buharlaşmayı tespit etmede, SEBAL modelin güvenilir bir yöntem olmadığı, SEBS modelin ise iyi performans gösterdiği belirlenmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada kullanılan veriler, çalışma planı ve uygulanan yöntemler şematik olarak Şekil 3.1’ de verilmiştir. Çalışmada temel veriler olarak arazi kullanım haritası, SYM, GPM, Landsat 8 uydu görüntüleri ve meteoroloji istasyonlarında ölçülmüş hava sıcaklığı (T_a), RH, u_2 ve yağış kullanılmıştır. Çalışma kapsamında GPM uydu verilerinden elde edilen yağış haritaları, meteoroloji istasyonlarında ölçülen yağış verileri ve enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen yağış haritaları ile istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca Landsat 8 uydu görüntüleri ve meteorolojik veriler kullanılarak elde edilen ET haritaları, yağış verileri, Kızılırmak havzası arazi kullanımı ve diğer havza özellikleri bir arada değerlendirilmiş ve bu verilerin havza su yönetiminde kullanım olanakları tartışılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan veriler ve uygulanan yöntemlere ilişkin çalışma planı

Havzanın bu kesimlerinde yıllık yağış ortalaması 300-400 mm arasında değişmektedir (Anonim, 2018a). Kızılırmak havzası yıllık yağış ve diğer iklim koşulları dikkate alındığında Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre yarı kurak, yarı kurak-az nemli ve yarı nemli olmak üzere 3 farklı bölgeye ayrılabilir (Anonim, 2018b).

3.1.2. Kızılırmak havzası arazi kullanım durumu

Kızılırmak havzası arazi kullanım durumunu gösteren harita Şekil 3.3’de verilmiştir. Bu sayısal haritanın hazırlanmasında CORINE (Coordination of Information on the Environment) arazi sınıflandırma sisteminden yararlanılmıştır. CORINE arazi örtüsü projesi, Avrupa Çevre Ajansı’nın belirlediği kriterler doğrultusunda yapılan sınıflandırmalara dayanmaktadır. Projenin amacı Avrupa Çevre Ajansı’na üye tüm ülkelerde, arazilerdeki çevresel değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların rasyonel biçimde yönetilmesi ve çevre ile ilgili politikaların belirlenmesinde kullanılmak üzere aynı temel verilerin toplanması ve standart bir veri tabanının oluşturulmasıdır. Çalışma 1985 yılında başlatılmış ve 1990, 2000, 2006 ve 2012 yıllarına ait veri setleri oluşturulmuştur (Anonim, 2018c). CORINE projesinde Avrupa Çevre Ajansı tarafından sağlanan orta ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile (Landsat-4/5/7, TM, SPOT-4 ve/veya IRS LISS III vb) uzaktan algılama ve CBS teknolojileri ve bilgisayar destekli görsel yorumlama teknikleri kullanılmıştır. Çalışma ile 1/100.000 ölçeğinde arazi örtüsü/kullanımının değişiminin tespit edilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda 1/25.000 ölçekli topografik paftalar, toprak, orman, sulanan alan haritaları gibi yardımcı veriler de kullanılmaktadır. Sonuç olarak CORINE sisteminden 100 m çözünürlüğe sahip arazi kullanım haritaları temin edilebilmektedir. CORINE sınıflandırmasında 5, 15 ve 44 adet arazi kullanım sınıfının bulunduğu 3 seviye bulunmaktadır (Anonim, 2018c). Ülkemizde, CORINE projesi çalışmaları, 2001 yılında başlatılmış ve günümüze kadar birçok kurum katkı sağlamıştır (Anonim, 2018d; Anonymous, 2018a).

Bu çalışmada 1. Seviyede kapsamında olan 5 arazi kullanım sınıfı kullanılmıştır. Kızılırmak havzası izdüşümü alanının Türkiye izdüşümü alanına oranı % 10.48’dir. Kızılırmak havzasındaki en büyük alanı % 54.68 ile tarımsal alanlar oluşturmaktadır. CORINE sistemine göre tarımsal alan arazi örtü sınıfı kapsamına ekilebilir alanlar, sabit bitkisel üretim alanları (meyvelik vb.), meralar ve karma tarım alanları girmektedir. Havza arazi kullanımını içerisinde % 42 ile orman ve yarı doğal alanlar

3.1.3. Kızılırmak havzası sayısal yükseklik modeli verileri

Bu çalışma kapsamında Kızılırmak havzasını kapsayacak şekilde toplam 26 adet ASTER GDEM V2 verisi (SYM) temin edilmiştir (Anonymous, 2018b). Temin edilen SYM haritalarının kuzey ve doğu koordinatları Çizelge 3.1’ de verilmiştir. SYM modeli verileri havza sınırlarının ve akım ağlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. SYM modeli havza sınırlarının belirlenmesi, havzanın karakterizasyonu ve havzanın fiziksel özelliklerinin görselleştirilmesi için güçlü bir araçtır.

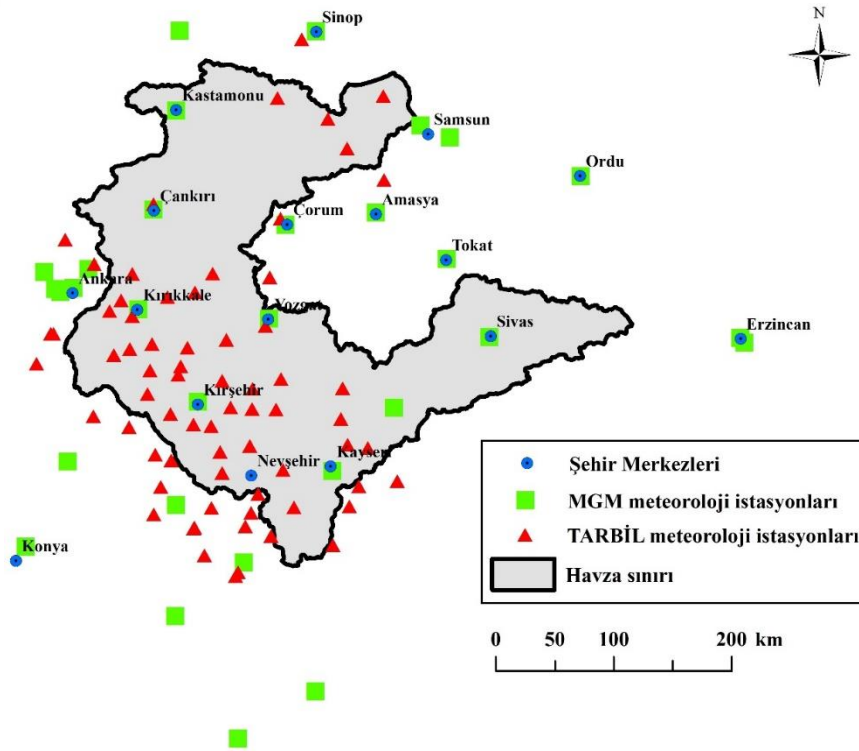
Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Odası Bakanlığı (METI) ve Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)’ nin ortaklaşa geliştirmiş oldukları Küresel Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Versiyon 2’ yi 17 Ekim 2011 tarihinde duyurulmuştur. SYM, 2009 yılının Haziran ayında yayımlanan ASTER GDEM’ in ilk sürümü Terra uydusu üzerinde bulunan ASTER ölçüm cihazı tarafından çekilen görüntüler kullanılarak elde edilmiştir. ASTER GDEM verileri dünyanın kara yüzeyleri ağırlığının % 99’ unu kapsayan açıklıklı 83 derece kuzey ve 83 derece güney enlemlerini kapsamaktadır. ASTER GDEM V2, V1 ile benzer olan 30 m’ lik konumsal çözünürlüğü, gridli yapısı ve geotif biçimini korumaktadır (Anonymous, 2018c).

Çizelge 3.1. Çalışma alanı için temin edilen SYM verilerinin genel koordinat bilgileri

Kuzey	Doğu	Kuzey	Doğu
37	34		32
	35		33
38	33		34
	34	40	35
	35		36
	36		37
39	32		38
	33		33
	34		34
	35	41	35
	36		36
	37		34
	38	42	35

3.1.4. Meteoroloji istasyonları ve meteorolojik veriler

Çalışma kapsamında Kızılırmak havzası ve çevresinde yer alan MGM ve Tarımsal İzleme ve Bilgi sistemi (TARBİL) meteoroloji istasyonlarında 2015 su yılında ölçülen saatlik ve aylık Ta, RH, u₂, yağış verileri ve günlük toplam güneş radyasyonu (Rs), güneşlenme süresi verileri temin edilmiştir. Bu çalışma kapsamında toplam 100 adet istasyonda ölçülen yağış verisi, toplam 90 adet istasyonda ölçülen Ta, RH, u₂, Rs ve güneşlenme süresi verileri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan MGM ve TARBİL istasyonlarının Kızılırmak havzasına göre konumları ve dağılımları Şekil 3.4’ de verilmiştir. Buna göre bu çalışmada toplam 100 adet istasyon verisinin 31 adeti MGM istasyonunda ve 69 adeti TARBİL istasyonunda kayıt altına alınan verilerden oluşmaktadır. Toplam 90 adet istasyon verisinden 24 adeti MGM istasyonunda ve 66 adeti TARBİL istasyonunda kayıt altına alınmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan alansal dağılım haritalarının düzgün olarak elde edilmesi için sadece havza içerisinde bulunan istasyonlar değil aynı zamanda havza dışında bulunan istasyonlarda seçilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonları ve havza içerisindeki dağılımları

3.1.5. Küresel yağış ölçüm sistemi (GPM) verileri

Bu çalışmada yağışın konumsal ve zamansal dağılımının belirlenmesi amacıyla GPM-IMERG uydu verilerinden yararlanılmıştır. GPM sisteminin planlanmasına 2009 yılında başlanmış ve bu uydu 2014 yılı Şubat ayında faaliyete girmiştir ve sistem günümüzde de veri sunmaya devam etmektedir (Anonymous, 2018d).

GPM uydusu, yağışın dağılım haritası sunan TRMM uydusunun devamı niteliğindedir. Bu uydu sistemi orta ve yüksek enlemlerde yağmur, kar vb yağış oluşumlarının önemli bir kısmını tahmin etmektedir. TRMM uydusuna göre GPM'in önemli avantajı katı yağış parçacıklarının mikro fiziksel özelliklerini ve hafif şiddetteki yağışı (0.5 mm/h) tespit etmek için genişletilmiş bir kapasiteye sahip olmasıdır. Çünkü GPM' de bulunan aktif ve pasif sensörlerin tasarımları TRMM uydusundan daha farklıdır. GPM temel gözlemevi Ku/Ka banta sahip çift frekanslı yağış radarı (DPR) ve çok kanallı bir mikrodalga görüntüleme (GMI) aracını üzerinde taşımaktadır. GPM uydusunun konumsal ve zamansal çözünürlüğü sırasıyla $0,1^\circ$ ve 30 dakikadır (Anonymous, 2018e).

GPM yağış radarı (DPR) aracı, 125 ve 245 km tarama alanına sahiptir. Yağışın üç boyutlu ölçümlerini sağlayan 35.5 GHz hızında çalışan bir Ka-bant (KaPR) ve 13.6 GHz çalışan bir Ku-bant yağış radarlarını (KuPR) içermektedir. DPR, TRMM yağış radarına göre, hafif yağmur ve kar yağışında daha duyarlı olarak çalışmakta ve Ka/Ku bantlar sayesinde, yağış parçacıklarının veya damlaların boyutlarının dağılımları üzerine yeni bilgiler verebilmektedir. Ek olarak, DPR havayı ve bulutları gözlemlemek için yeni birtakım mikro fiziksel ölçümler sağlamaktadır. GPM çok kanallı mikrodalga görüntüleme (GMI) aracı, 885 km'lik tarama alanını kapsayan 10 GHz ile 183 GHz arasında değişen frekansla on üç kanala sahip konik taramalı bir mikrodalga radyometresidir. GMI aracı farklı kanallardaki kutuplaşma farkını kullandığı için, orta ve hafif şiddetteki yağışı tespit etmek amacıyla TRMM uydusuna göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Anonymous, 2018e).

Bu çalışma kapsamında 2015 su yılına ait toplam 12 adet aylık GPM uydu verisi (GPM-IMERGv03 ürünü) kullanılmıştır (Anonymous, 2018f).

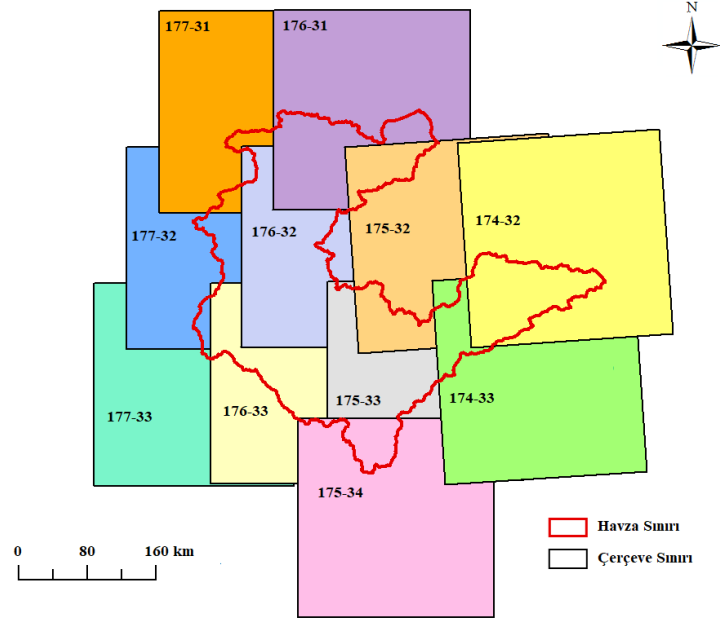
3.1.6. Landsat 8 uydu verileri

Bu çalışmada ET haritalamada Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Landsat 8 uydusunun bantlara göre genel özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir. Buna göre Landsat 8 uydusu 4 tanesi görünür (VNIR), 1 tanesi yakın infrared (NIR), 2 tanesi kısa dalga infrared (SWIR), 1 tanesi pankromatik, 1 tanesi sirus ve 2 tanesi termal infrared (TIR) olmak üzere toplam 11 banta sahiptir. Uydunun termal bantlarının konumsal çözünürlükleri 100 m, diğer bantların konumsal çözünürlükleri ise 30 m' dir (Anonim, 2018e).

Kızılırmak havzasının tümünün ve 2015 su yılının önemli bir bölümünün ET haritalarının elde edilebilmesi için çalışmada 11 farklı çerçevede (path-row' da) çekilmiş 74 adet Landsat 8 uydu görüntüsü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Landsat 8 uydusunun çerçeveleri Şekil 3.5' te çalışma alanı üzerinde gösterilerek verilmiştir. Landsat 8 uydu görüntülerinin seçilmesinde özellikle bulutluluk koşulları göz önünde tutulmuştur. Bu nedenle her bir çerçevede görüntü sayısı farklılık göstermiştir. Temin edilen 74 adet görüntünün tarihleri çerçevelerine göre Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Landsat 8 uydusu bantlarının genel özellikleri (Anonim, 2018e)

Spektral Aralık	Dalgaboyu (μm)	Çözünürlük (m)
Bant 1 - Kıyı/ Aerosol	0.433 - 0.453	30
Bant 2 - Mavi	0.450 - 0.515	30
Bant 3 - Yeşil	0.525 - 0.600	30
Bant 4 - Kırmızı	0.630 - 0.680	30
Bant 5 - Yakın infrared	0.845 - 0.885	30
Bant 6 - Kısa dalga infrared	1.560 - 1.660	30
Bant 7 - Kısa dalga infrared	2.100 - 2.300	30
Bant 8 - Pankromatik	0.500 - 0.680	15
Bant 9 - Sirus	1.360 - 1.390	30
Bant 10 - Termal infrared	10.30 - 11.30	100
Bant 11 - Termal infrared	11.50 - 12.50	100



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan Landsat 8 uydu görüntüsü çerçevelerinin Kızılırmak havzasındaki dağılımları

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan Landsat 8 uydu görüntüleri tarihleri ve çerçeve kodları

Path-Row	Tarih	Path-Row	Tarih	Path-Row	Tarih	Path-Row	Tarih
174-32	12.11.2014	175-33	2.10.2014	176-32	9.10.2014	177-31	16.10.2014
	7.5.2015		28.4.2015		10.11.2014		17.11.2014
	26.7.2015		1.7.2015		3.4.2015		9.3.2015
	11.8.2015		17.7.2015		19.4.2015		25.3.2015
	12.9.2015		3.9.2015		5.5.2015		12.5.2015
	28.9.2015		19.9.2015		21.5.2015		31.7.2015
174-33	12.11.2014	175-34	28.4.2015	177-32	24.7.2015	175-32	1.9.2015
	7.5.2015		14.5.2015		9.8.2015		2.10.2014
	26.7.2015		1.7.2015		10.9.2015		19.11.2014
	11.8.2015		17.7.2015		26.9.2015		18.8.2015
	12.9.2015		18.8.2015		16.10.2014		3.9.2015
	28.9.2015		3.9.2015		17.11.2014		19.9.2015
176-33	10.11.2014	177-33	17.11.2014	177-32	9.3.2015	176-31	3.4.2015
	19.4.2015		5.2.2015		12.5.2015		5.5.2015
	5.5.2015		9.3.2015		31.7.2015		24.7.2015
	21.5.2015		15.7.2015		1.9.2015		9.8.2015
	24.7.2015		31.7.2015		17.9.2015		26.9.2015
	9.8.2015		16.8.2015				
	10.9.2015		1.9.2015				
	26.9.2015		17.9.2015				

3.1.7. Kullanılan bilgisayar yazılımları

Çalışma kapsamında ArcGIS, Python ve Global Mapper yazılımlarından yararlanılmıştır. Bu yazılımların tümü lisanslı olarak OMÜ, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Uzaktan Algılama ve CBS laboratuvarında bulunmaktadır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Kızılırmak havza sınırlarının ve akım ağlarının belirlenmesi

Havza sınırlarının ve havzanın akım ağlarının belirlenmesi amacıyla Kızılırmak havzasını kapsayacak şekilde temin edilen 26 adet SYM verisinden yararlanılmıştır. İşlemlerin tümünde ArcGIS yazılımının hidroloji modülü kullanılmıştır. SYM’deki her hücre için akım yönleri belirlenmiştir. Akım yönleri bir araya getirilerek Kızılırmak havzasındaki akım toplanma yapısı belirlenmiştir. Havza sınırlarının belirlenmesinde akım yönleri ve havzanın çıkış noktası kullanılmıştır. Havzanın akım ağları ise akım toplanma yapısı kullanılarak oluşturulmuştur (Aslan vd, 2004; Baloch ve Tanık, 2009; Güreşçi vd, 2012; Yılmaz vd, 2015).

3.2.2. Meteorolojik verilerin kalite kontrolü, eksik verilerin tamamlanması ve hesaplamalar

Meteoroloji istasyonlarına ait iklim verileri kalite kontrolden geçirilmiştir. İklim verilerinde önemli eksiklikler olan veya verileri güvenilir olmayan istasyonlara ait veriler çalışmada kullanılmamıştır. Yağış verilerinin temin edildiği toplam istasyon sayısı 100 adet olup, 31 adeti MGM, 69 adeti TARBİL istasyonlarından temin edilmiştir. Diğer verilerin temin edildiği toplam istasyon sayısı 90 adet olup, 24 adeti MGM ve 66 adeti TARBİL istasyonlarından temin edilmiştir. Bu kapsamda yağış ve diğer veriler birbirlerinden bağımsız olarak dikkate alınmıştır. Verilerin kalite kontrolü ve eksik verilerin tamamlanmasında (Allen vd, 1998)’de verilen yöntemlerden yararlanılmıştır. Günlük R_s ($R_{S_{günlük}}$) değeri olmayan istasyonlar için bu değer günlük güneşlenme süresine dayalı olarak Allen vd (1998)’de verilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında açık gökyüzü koşulunda temin edilen uydu görüntüleri gözönüne alınmıştır. Bu yüzden saatlik R_s ($R_{S\text{saatlik}}$) hesaplamaları açık gökyüzü koşulunda Eşitlik 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitliklerde DOY yılın gün sayısı, z (m) yükseklik (SYM haritasından alınmıştır) ve β güneşin yükseklik açısıdır. Hesaplamalar SYM' deki her bir hücre için yapılmış ve böylece $R_{S\text{saatlik}}$ haritası elde edilmiştir.

$$R_{S\text{saatlik}} = 1367 \cdot \cos \theta \times dr \times \tau_{sw} \quad (3.1)$$

$$\cos \theta = 90 - \beta \quad (3.2)$$

$$dr = 1 + 0.033 \cos\left(\text{DOY} \frac{2\pi}{365}\right) \quad (3.3)$$

$$\tau_{sw} = 0.75 \times 10^{-5} \times z \quad (3.4)$$

Çalışmada atmosferik basınç (P) değerleri SYM' nin her bir hücresi için z değerlerine dayalı bir biçimde Eşitlik 3.5 yardımıyla hesaplanmıştır. Böylece P haritası elde edilmiştir.

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - (0.006z)}{293} \right)^{5.26} \quad (3.5)$$

3.2.3. Uydu tabanlı yağış haritalarının oluşturulması

Çalışma kapsamında Kızılırmak havzası sınırları seçilerek, 2015 su yılı için 12 adet GPM yağış verisi (GPM-3IMERGv03) aylık olarak NetCDF formatında indirilmiş ve bilgisayar ortamına aktarılmıştır. ArcGIS bilgisayar yazılımı aracılığıyla GPM-IMERG uydu verilerinin her bir hücresi (pikseli) aylık toplam yağış verileri kullanılarak 2015 su yılı için yıllık toplam yağış haritası oluşturulmuştur. Ardından aylık ve yıllık yağış ürünleri Kızılırmak Havzası'nın sınırları doğrultusunda kesilip haritalanmıştır.

3.2.4. Referans bitki su tüketimi (E_{Tr}) hesaplamaları

Kızılırmak havzası ve çevresinde bulunan ve veri temin edilen bütün istasyonlar için Landsat 8 uydusu çekim tarihleri ve saatlerinde günlük ve saatlik referans bitki su tüketimi ($E_{Tr\text{günlük}}$ ve $E_{Tr\text{saatlik}}$) hesaplamaları yapılmıştır. $E_{Tr\text{günlük}}$ kullanılarak her bir istasyon için aylık referans bitki su tüketimi ($E_{Tr\text{aylık}}$) hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplama ASCE-EWRI (2005) uzun boylu bitki yonca için verilen yöntemden yararlanılmıştır.

Standardize referans bitki su tüketimi Eşitlik 3.6 kullanılarak hesaplanmıştır. Burada ETr; uzun boylu bitki için standardize referans bitki su tüketimi (mm d⁻¹ ve mm h⁻¹), Rn; Net radyasyon (MJ m⁻² d⁻¹ ve MJ m⁻² h⁻¹), G; Toprak ısı akısı (MJ m⁻² d⁻¹ veya MJ m⁻² h⁻¹), T; 1.5 m'den 2.5 m yüksekliğine kadar günlük veya saatlik hava sıcaklığı (°C), u₂; 2 m yüksekliğinde ölçülmüş günlük veya saatlik rüzgâr hızı (ms⁻¹), e_s; doygun buhar basıncı (kPa), e_a; gerçek buhar basıncı (kPa) ve Δ; doygun buhar basıncı-sıcaklık eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹), γ; psikrometrik sabite (kPa °C⁻¹), C_n; pay sabiti (saatlik ve günlük için sırasıyla 66 ve 1600 K mm s³ Mg⁻¹ d⁻¹ veya K mm s³ Mg⁻¹ h⁻¹), C_d; payda sabiti (saatlik ve günlük için sırasıyla 0.25 ve 0.38 s m⁻¹) ve 0.408 (m² mm MJ⁻¹) sabit değerdir.

$$E_{Tr} = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (3.6)$$

3.2.5 Enterpolasyon yöntemleri ile alansal dağılım haritalarının oluşturulması

Bu çalışmada Kızılırmak havzasında, 2015 su yılı için MGM ve TARBİL meteoroloji istasyonlarından temin edilen iklim verileri kullanılmıştır. Merkezi limit teoremine göre, örneklem büyüklüğü (n) arttıkça verilerin dağılımı normal dağılıma yaklaşmaktadır. Yapılan çalışmalarda bazı örnek dağılımının normalliği için örnek sayısının en az 30 olması gerekmektedir (Armutlulu, 2008; Çil, 2008). Buna göre, bu çalışmada veri temin edilen istasyon sayısı yeterlidir. Bu değerlendirme daha önce yürütülen benzer çalışmalar dayanak alınarak yapılmıştır. Örneğin, alanı 25,370.0 km² olan Yukarı Ping Nehri havzasında, yağışın konumsal ve zamansal dağılımının belirlenmesi amacıyla, Taesombat ve Sriwongsitanon (2009)'da 81 adet yağış istasyonu verisi ve Visessri ve McIntyre (2012)'de, 49 adet yağış istasyonu verisi kullanmışlardır. Yapılan diğer bir çalışmada ise 225 adet meteoroloji istasyonu kullanılarak tüm Türkiye' de yağışın alansal dağılımı belirlenmiştir (Bostan ve Akyürek, 2012).

Çalışmada ilk olarak saatlik verilerden Ta, RH, u₂ ve ETr_{saatlik} ve aylık verilerden ETr_{aylık} ve yağış verilerinin dağılımları hakkında bilgi edinmek amacıyla tanımlayıcı istatistik değerleri hesaplanmıştır. Bu amaçla çalışmada kullanılan verilerin en küçük, en büyük ve ortalama değerleri ile standart hata, çarpıklık (asimetri), basıklık ve varyasyon katsayısı hesaplanmıştır. Standart sapma bir veri kümesinde değerlerin

ortalamaya ne kadar yakın veya uzak olduğunu belirleyen bir değişkenlik ölçüsüdür. Yani standart sapmanın küçük olması dağılımın daha dar bir alanda olduğunu, büyük olması ise dağılımın daha geniş bir alanda olduğunu göstermektedir (Gürsakar, 2014, 2015). Çarpık bir dağılımın, bir kuyruğu diğerinden uzundur. Pozitif çarpıklığa sahip bir dağılımın sağdaki kuyruğu uzun, negatif çarpıklığa sahip bir dağılımın soldaki kuyruğu daha uzundur (Gürsakar, 2015). Çarpıklık değeri 0'a eşit olduğunda seri simetriktir. Eğer çarpıklık değeri sıfırdan büyükse sağa çarpık, sıfırdan küçükse sola çarpıktır. Basıklık serinin normal serinin yüksekliğinden ne kadar uzaklaştığını göstermektedir. Basıklık değeri ise 3'den büyükse dağılımın yüksekliği normal dağılımdan daha sivri 3'den küçükse normal dağılımdan daha basıktır (Gürsakar, 2015; O'Bryant vd, 2009). Değişkenlik ölçüleri içerisinde gözlem değerlerinin ölçü birimine bağımlı olmayan değişkenlik ölçüsü ise varyasyon katsayısıdır. Yüzde olarak ifade edilmektedir. Daha çok ölçü birimleri farklı olan verilerin değişkenliğini karşılaştırmada kullanılmaktadır. Varyasyon katsayısı arttıkça değişkenlik artmaktadır (Gürsakar, 2015; O'Bryant vd, 2009). Çalışma kapsamında dağılımları hakkında bilgi edinilen veriler normal dağılım göstermiyorsa haritalanmadan önce dönüşüme tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada T_a , RH , u_2 , ET_{saatlik} , $ET_{\text{aylık}}$ ve yağış verilerinin alansal dağılımları enterpolasyon yöntemleri kullanılarak belirlenmiştir. Enterpolasyon yöntemleri sonucunda elde edilen haritalar (yağış hariç) uzaktan algılama teknikleri ile aylık ve dönemlik (1 Nisan-1 Ekim) ET haritalarının hazırlanmasında girdi olarak kullanılmıştır. Enterpolasyon ile belirlenen alansal yağış dağılım haritaları ise GPM uydu ürünlerinden elde edilen yağış haritalarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Her bir verinin alana dağıtılmasında IDW, OK ve COK enterpolasyon yöntemlerinden öne çıkan bir yöntem seçilerek kullanılmıştır. Seçimde aylık veriler için elde edilen istatistiksel performans parametrelerinden yararlanılmıştır. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan OK ve COK yöntemlerinde yarı varyogram modelleri de istatistiksel performansa göre seçilmiştir. Ardından seçilen yönteme göre ilgili verinin alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır. COK yönteminde ikinci değişken olarak verinin ait olduğu meteoroloji istasyonunun yükseklik değeri kullanılmıştır. IDW, OK ve COK enterpolasyon yöntemlerine ilişkin temel formülasyonlar aşağıda özet olarak verilmiştir. Söz konusu yaklaşımların detayları Goovaerts (1997) ve Isaaks ve Srivastava (1989) tarafından verilmiştir.

IDW 1970'lerden sonraki Tobler' in ilk yasasına (ilk coğrafya yasası) dayanmaktadır. IDW 1972'de ABD'de Ulusal Hava Durumu Servisi tarafından geliştirilmiştir ve deterministik bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Yöntem belirli istatistiksel varsayımlar içermektedir. Bu nedenle IDW kriging gibi stokastik yöntemlerden farklıdır. IDW yöntemi, bilinmeyen nokta değerlerinin bilinen komşu nokta değerlerinin ağırlıklı ortalaması varsayımı ile belirlenmesi esasına dayanan çok değişkenli enterpolasyon yöntemidir (Chen ve Liu, 2012; Lu ve Wong, 2008; Taylan ve Damçayırı, 2016). IDW yönteminin temel eşitlikleri Eşitlik 3.7 ve 3.8' de verilmiştir (Li ve Heap, 2008). Burada Z_p bilinmeyen veri, Z_i bilinen veri, N veri sayısı, w_i ağırlıklı ortalama, d_i bilinmeyen veri ile bilinen veri arasındaki mesafe ve r üs değeridir ve aynı zamanda kontrol parametresidir.

$$Z_p = \sum_{i=1}^N w_i Z_i \quad (3.7)$$

$$w_i = \frac{d_i^{-r}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-r}} \quad (3.8)$$

Jeostatistiksel enterpolasyon yöntemlerinin çoğunda, bilinmeyen değerler kümesi konumsal bağımlı rastgele değişkenler kümesi olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, her bir ölçüm değişkeni $z(u_\alpha)$ rastgele özel olan bir değişkenle $Z(u_\alpha)$ belirlenmektedir. Kriging, genelleştirilmiş en küçük kareler regresyon tekniğidir. Gözlemler arasındaki mekansal bağımlılığı yarı varyogramlarla ortaya koyup hesaba katan bir yöntemdir. IDW yöntemi gibi, örneklenmemiş "u" bölgesindeki bilinmeyen bir veriyi (z) tahmin ederken komşu bilinen verilerin doğrusal kombinasyonundan yararlanılmaktadır (Eşitlik 3.9).

$$z_{OK}^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_\alpha^{OK}(u) z(u_\alpha) \quad (3.9)$$

$$\sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_\alpha^{OK}(u) = 1$$

Burada $\lambda_\alpha^{OK}(u)$ OK ağırlıklarıdır. Ağırlıklar tahminleyicinin sapmasızlığını sağlarken ($E(Z_{OK}^*(u) - Z(u)) = 0$) tahmin varyansını $\text{Var}(Z_{OK}^*(u) - Z(u))$, en aza indirecek şekilde belirlenmektedir. Bu ağırlıklar OK yönteminde Eşitlik 3.10'da verilen doğrusal sistemin çözümlenmesi ile elde edilmiştir.

$$\sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_\beta(u) \gamma(u_\alpha - u_\beta) - \mu(u) = \gamma(u_\alpha - u) \quad \alpha = 1, \dots, n(u)$$

$$\sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_\beta(u) = 1 \quad (3.10)$$

Burada ağırlıklar üzerindeki kısıtlamayı hesaplamak için Lagrange parametresi $\mu(u)$ kullanılmaktadır. Kriging sisteminin gerektirdiği tek bilgi farklı lag (a) aralıklarındaki yarı varyogram değerleridir ve bu değerler deneysel olarak elde edilen bir yarı varyogram modeli ile (örneğin, küresel (spherical), üssel (exponential), kübik, gausiyan, lineer model vb.) kolayca belirlenebilmektedir (Goovaerts, 1997; Goovaerts, 2000).

Yarı varyogramlar artan mesafe ile önce hızlı, daha sonra yavaş yavaş artarak belirli bir değere yaklaşır ve belirli bir mesafeden sonra artmamaktadır. Bir yarı varyogram bu mesafede aldığı değer (en yüksek değer) sill, sill değerinin olduğu mesafe ise range olarak adlandırılmaktadır. Range' den daha uzun mesafelerle ayrılmış örnekler arasında uzaysal bir ilişki söz konusu değildir. Yarı varyogram sıfır mesafesinde, y eksenini kestiği noktadaki değer nugget varyans olarak adlandırılmaktadır (Erşahin vd, 2015; Isaaks ve Srivastava, 1989).

COK jeostatistiksel enterpolasyon yöntemi kriging yönteminin çok değişkenli bir uzantısı sayılabilmektedir (Goovaerts, 1997). Xu vd (1992) ve Goovaerts (1997)'a göre "u" konumunda bulunan ikinci bir değişkenle çalışma alanındaki herhangi bir özellik daha iyi açıklandığından, bu yöntemde hata miktarı diğer yöntemlerde göre daha az olmaktadır. Ortak konumlandırılmış değişkenin dahil edildiği COK yöntemi ile değişken tahmini Eşitlik 3.11'de verilmiştir. Burada m_Z ve m_Y birinci ve ikinci değişkenin ortalamasıdır (Goovaerts, 1997; Goovaerts, 2000).

$$z_{COK}^*(u) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{COK}(u) z(u_{\alpha}) + \lambda^{COK}(u)(y(u) - m_Y + m_Z) \quad (3.11)$$

COK yönteminde ağırlıklar Eşitlik 3.12'de verilen doğrusal sistemin çözümlenmesi ile elde edilmiştir (Goovaerts, 2000).

$$\begin{aligned} \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\alpha}^{COK}(u) \gamma_{ZZ}(u_{\alpha} - u_{\beta}) + \lambda^{COK}(u) \gamma_{ZY}(u_{\alpha} - u) + \mu^{COK}(u) = \\ \gamma_{ZZ}(u_{\alpha} - u) \\ \alpha = 1, \dots, n(u) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{COK}(u) \gamma_{YZ}(u - u_{\beta}) + \lambda^{COK}(u) \gamma_{YY}(0) + \lambda^{COK}(u) = \gamma_{ZY}(0) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} \lambda_{\beta}^{COK}(u) + \lambda^{COK}(u) = 1 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Burada $\gamma_{ZY}(u_{\alpha} - u)$ u_{α} ve u konumundaki birinci ve ikinci değişkenler arasındaki yarı varyogram değeridir (Goovaerts, 2000).

Bu çalışmada enterpolasyon yöntemlerinin değerlendirilmesi amacıyla çalışma alanı için temin edilen meteorolojik verilerin % 70'i eğitim ve % 30' u test verisi olarak kullanılmıştır. Değerlendirme istatistiksel performans parametrelerinden R^2 , RMSE ve MAE kullanılarak yapılmıştır. R^2 , RMSE ve MAE hesaplamasında kullanılan eşitlikler sırasıyla Eşitlik 3.13, 3.14 ve 3.15' de verilmiştir (Arlot ve Alain, 2010; Gürsakal, 2014). Çalışma kapsamında R^2 değeri yüksek, RMSE ve MAE değerleri düşük olan modeller seçilmiştir.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{j=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n [X_i - \bar{X}]^2 \sum_{j=1}^n [Y_i - \bar{Y}]^2}} \right]^2 \quad (3.13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [X_i - Y_i]^2} \quad (3.14)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n |X_i - Y_i| \quad (3.15)$$

Burada Y_i $j=1 \dots n$ tahmin veri seti ve X_i $j=1 \dots n$ orjinal veri setini ifade etmektedir. \bar{X} orjinal veri setinin aritmetik ortalaması \bar{Y} tahmin veri setinin aritmetik ortalamasını ifade etmektedir.

3.2.6. ET haritalarının oluşturulması

Kızılırmak havzasının 2015 su yılı 1 Nisan-1 Ekim dönemi ET haritalarının oluşturulmasında, Landsat 8 uydu görüntüleri, SYM ve iklim verileri kullanılmıştır. İklim verisi olarak görüntü çekim tarihleri ve saatleri için enterpolasyon yöntemleri ile hazırlanan alansal dağılım haritaları (Ta, RH, u_2 ve ETr) ve P ve $R_{S\text{aatlik}}$ haritaları kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında farklı çerçevelere (path-row) ait toplam 74 adet Landsat 8 uydu görüntüsü işlenmiştir. Bu haritaların oluşturulmasında yüzey enerji dengesine dayanan METRIC modelinden yararlanılmıştır. Enerji dengesi temeline dayanan METRIC modeli genel olarak oldukça karmaşık bir algorithmadan oluşmaktadır. Bu algoritmanın tamamının tüm detaylarına Allen vd (2007b); Bastiaanssen vd (1998a) ve Allen vd (2005)'den ulaşılabilir. Aşağıda METRIC algoritması özet olarak verilmiştir.

METRIC modeli temelde termal banta sahip uydu görüntüsü ve iklim verileri yardımıyla yüzey enerji dengesine dayalı bir biçimde ET haritalama olanağı

sunmaktadır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b). Yüzey enerji dengesine göre yeryüzünde depolanan R_n buharlaşmanın bir fonksiyonu olan Gizli Isı Akısı (LE), Toprak Isı Akısı (G) ve Hissedilebilir Isı Akısı'nda (H) kullanılmaktadır (Eşitlik 3.16). Enerji dengesi bileşenleri $W m^{-2}$ cinsinden hesaplanmaktadır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007b). Çalışmada yapılan hesaplamaların tümü uydu görüntülerinde uydu görüntüsünün her bir hücresi (piksel) için yürütülmüştür.

$$LE=R_n-G-H \quad (3.16)$$

Uydu görüntülerinden ilk olarak Spektral radyans (L_i) değerleri hesaplanmıştır (Eşitlik 3.17). Eşitlik 3.17' de M_p ve A_p Landsat 8 uydu görüntüsünün bantlarına özgü ölçekleme faktörü ve Q_{cal} her bir bant için sayısal numara (DN) değeridir (Anonymous, 2018g). Ardından atmosferik doğrulama işlemleri uygulanmıştır.

$$L_i = M_p Q_{cal} + A_p \quad (3.17)$$

Bu aşamadan sonra uyduda ve yeryüzünde spektral yansımaya oranı (ρ_λ , $\rho_{s,b}$) parametreleri Eşitlik 3.18 ve 3.19 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitliklerde $\rho_{a,b}$ uydunun yansımaya ilişkin özel değeri (0-1 arasında boyutsuz) $\tau_{in,b}$ güneşten gelen radyasyon için atmosferik transmissivite ve $\tau_{out,b}$ yüzeyden gelen radyasyon için atmosferik transmissivite ve θ_{SE} güneş açısıdır (Anonymous, 2018g). Atmosferik doğrulama hesaplamaları Allen vd, (2007)' de verilen esaslara göre tamamlanmıştır. Ayrıca atmosferik doğrulama işlemlerinde enterpolasyon yöntemlerine göre oluşturulan iklim haritaları kullanılmıştır.

$$\rho_\lambda = \frac{L_\lambda}{\sin(\theta_{SE})} \quad (3.18)$$

$$\rho_{s,b} = \frac{\rho_\lambda - \rho_{a,b}}{\tau_{in,b} \cdot \tau_{out,b}} \quad (3.19)$$

Yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının önemli miktarı yüzeyin cinsine göre α oranında geri yansımaktadır. Farklı yüzeyler ve eğim açlarına bağlı olarak α değişim göstermektedir. Çalışmada Eşitlik 3.20 yardımıyla α hesabı yapılmıştır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007b). Eşitlikte W_b Landsat 8 uydu görüntüsünün 2., 3., 4., 5., 6. ve 7. bantları için ağırlık katsayılarıdır (Tasumi vd, 2008).

$$\alpha = \sum_{b=1}^7 (\rho_{s,b} \cdot W_b) \quad (3.20)$$

Vejetasyon indekslerinden NDVI, Toprak Yansımalarını Dikkate Alan Vejetasyon İndeksi (SAVI) ve YAI hesaplamalarında sırasıyla Eşitlik 3.21, 3.22 ve 3.23 kullanılmıştır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007b). Eşitliklerde NIR ve RED Landsat 8 uydusunun bu bantlardaki spektral yansıma oranı değerlerini ifade etmektedir. Ayrıca eşitlikte bulunan L toprak etkisini azaltmak için kullanılan bir katsayıdır. Bu çalışma kapsamında L değeri 0.1 olarak alınmıştır.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (3.21)$$

$$SAVI = (1 + L) \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \quad (3.22)$$

$$YAI = - \frac{\ln\left[\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right]}{0.91} \quad (3.23)$$

Yüzey sıcaklığı (T_s) hesaplamalarında emissivite haritalarının oluşturulması önemli bir aşamadır. Yüzey emissivite olan geniş bant emissivitesi (ϵ_0) ve dar bant emissivitesi (ϵ_{NB}) hesaplarında YAI değerleri dikkate alınarak Eşitlik 3.24, 3.25 ve 3.26 kullanılmıştır. T_s haritalarının oluşturulmasında Eşitlik 3.27 kullanılmıştır Burada; K1 ve K2 Landsat 8 için belirlenmiş katsayılarıdır (Anonymous, 2018g).

$$YAI < 3 \text{ ise; } \quad \epsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033 YAI \quad (3.24)$$

$$YAI < 3 \text{ ise; } \quad \epsilon_0 = 0.95 + 0.01 YAI \quad (3.25)$$

$$YAI \geq 3 \text{ olduğunda ise; } \quad \epsilon_{NB} = 0.98 \text{ ve } \epsilon_0 = 0.98 \quad (3.26)$$

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (3.27)$$

Net Radyasyon (R_n) absorbe edilen, yansıyan ve yayılan enerji arasındaki bütçeyi ifade etmektedir. Diğer bir deyişle, R_n , tutulan net kısa dalga boylu radyasyon (R_{ns}) ve kayıp edilen net uzun dalga boylu radyasyon (R_{nl}) arasındaki farktır (Allen vd, 1998). Bu çalışmada R_n kısa dalga boylu radyasyon ve uzun dalga boylu radyasyon, α ve emissivite kullanılarak Eşitlik 3.28 aracılığıyla hesaplanmıştır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007b; Bastiaanssen vd, 1998a).

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (3.28)$$

Burada, $R_{S\downarrow}$; gelen kısa dalga boylu radyasyon, $R_{L\downarrow}$; gelen uzun dalga boylu radyasyon ve $R_{L\uparrow}$; giden uzun dalga boylu radyasyondur. $R_{S\downarrow}$ açık gökyüzü koşulunda hesaplanmıştır (Eşitlik 3.29). $R_{L\uparrow}$ Stefan-Boltzman katsayısı (σ) kullanılarak hesaplanmıştır. Burada σ $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ olarak alınmıştır.

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_o \times \sigma \times T_s^4 \quad (3.29)$$

Toprak ısı akısı, R_n ve toprağı örten vejetasyonun yoğunluğuna bağlı olarak değişim gösterebilmektedir (Allen vd, 1998). Bu çalışmada G parametresi Eşitlik 3.30 veya 3.31 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{YAI} > 0.5 \text{ için} \quad G/R_n = 0.05 + 0.18 \exp(-0.521 \text{YAI}) \quad (3.30)$$

$$\text{YAI} < 0.5 \text{ için} \quad G/R_n = 1.80 (T_s - 273) / R_n + 0.084 \quad (3.31)$$

Enerji dengesi bileşenlerinden H , oldukça karmaşık bir algoritmaya sahiptir. H , bitki seviyesi ile bitkinin üzerinde belirli bir seviye arasındaki ısının değişimine tesir eden enerjiyi açıklamaktadır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007b; Bastiaanssen, 1999; Bastiaanssen ve Bantara, 2001; Bastiaanssen vd, 1998a; Bastiaanssen vd, 1998b). H hesabına ilişkin en temel eşitliklerden birisi Eşitlik 3.32'de verilmiştir. Burada, ρ havanın yoğunluğu (kg m^{-3}), C_p hava sabitesi ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$), dT T_s ile atmosfer sıcaklığı arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$) ve r_{ah} aerodinamik dirençtir (s m^{-1}).

$$H = \frac{\rho \times c_p \times dT}{r_{ah}} \quad (3.32)$$

Bu hesaplamada (H) dT ve r_{ah} hesabı önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü dT temel olarak T_s ve atmosfer sıcaklığı parametrelerinden oluşmaktadır. Bu parametreler bir uydu görüntüsünün her bir hücresinde farklı olabilmektedir. Bununla birlikte r_{ah} hesabı H ' ye dayalı stabilite doğrulama işlemlerini içermektedir. Bu aşamada r_{ah} hesabı iterasyon işlemi içermektedir (Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b). Aşağıda bu işlemlere ilişkin özet hesaplama aşamalarına yer verilmiştir. ρ parametresi Tasumi ve Allen (2007)' de verilen yöntemle göre hesaplanmıştır. Çalışmada r_{ah} hesabı Eşitlik 3.33 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$r_{ah} = \frac{\ln \left[\frac{Z_2}{Z_1} \right]}{u_* \times k} \quad (3.33)$$

Burada, z_1 ve z_2 vejetasyonun sıfır düzlemi yükseklikleri, u_* rüzgâr hızı fraksiyonu ($m s^{-1}$) ve k : von karman katsayısıdır (0.41). Eşitlikteki u_* değeri nötr atmosferik koşulu için logaritmik rüzgâr yasası kullanılarak hesaplanmıştır (Eşitlik 3.34). Burada, u_x : z_x yükseklikte ölçülen rüzgâr hızı ($m s^{-1}$) ve z_{om} : momentum pürüzlülük uzunluğudur (m). z_{om} değeri vejetasyon yüksekliğinin 0.12 katı alınarak belirlenmiştir.

$$u_* = \frac{ku_x}{\ln \left[\frac{z_x}{z_{om}} \right]} \quad (3.34)$$

Enerji dengesine dayalı ET hesabında kullanılan birçok model, uydu görüntüsünün her bir hücresi için dT değerinin tahmini için benzer yaklaşımlara sahiptir (Gowda vd, 2008b). Genel olarak bu değer, ET' nin en üst seviyede olduğu (soğuk hücre) ve hemen hiç olmadığı (sıcak hücre) iki uç nokta arasında dT ' nin T_s ' ye göre, $dT = a + bT_s$ gibi bir doğrusal regresyon denklemi ile kalibre edilmesini içermektedir. Bu amaçla, uydu görüntüleri işlenirken, çalışma sahası ve çevresinde tarım arazilerinden vejetasyon yoğunluğu yüksek ve T_s değeri en düşük hücreler soğuk hücre, vejetasyonu çok zayıf ve T_s değeri en yüksek hücreler sıcak hücre olarak belirlenmiştir. Soğuk ve sıcak hücrelerin R_n , G , T_s , z_{om} , r_{ah} gibi daha önce belirlenen parametreleri kullanılarak bu hücreler için H değeri belirlenmiştir. Bu hesaplamada soğuk hücre için ET değeri $1.05 \times E_{Tr}$, sıcak hücre için ET değeri sıfır alınmıştır. Elde edilen H değerleri kullanılarak, dT ve bu değer kullanılarak ilk a ve b katsayıları hesaplanmıştır. Belirlenen a ve b katsayıları uydu görüntüsünün her bir hücresi için dT hesabında kullanılmıştır. Bununla birlikte iterasyonun her bir adımı için a ve b katsayıları yenilenecek her bir hücre için dT değerleri tekrar hesaplanmıştır.

Rüzgâr hızı ve buna bağlı parametreler uydu görüntüsünün her bir hücresi için farklılık gösterebilmektedir. Buna göre her bir hücre için rüzgâr hızı fraksiyonu u_* ' ın hesaplaması için meteorolojik verilerin temin edildiği istasyonda 2.0 m yükseklikte ölçülen rüzgâr hızına göre belirlenen u_* değeri 200.0 m yüksekliğe uyarlanmış ve uydu görüntüsünün her bir hücresi için belirlenmiş z_{om} değeri kullanılarak, her bir hücre için tekrar yeryüzüne indirgenmiştir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinde (Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b)' de verilen yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu aşamadan sonra uydu görüntüsünün her bir hücresi için hesaplanan ilk H değerleri kullanılarak r_{ah} için stabilite doğrulaması yapılmış ve hesaplanan yeni r_{ah} değerlerine göre tekrar belirlenen a ve b katsayıları kullanılarak yeni H değerleri belirlenmiştir. Söz konusu iterasyona

hesaplanan son iki H değeri arasındaki fark % 10' dan daha az olana dek devam edilmiş ve H hesabı tamamlanmıştır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007b; Tasumi ve Allen, 2007).

METRIC modelinin son aşamasında Eşitlik 3.16' daki enerji dengesine göre hesaplanan LE değerinin buharlaşma gizli ısıya (L) bölünmesiyle uydu görüntülerinin her bir hücresi için anlık ET (ETi) hesaplanmıştır (Allen vd, 2005; Allen vd, 2007b). METRIC modelinde ETrF değerleri, ETi değerlerinin aynı zaman dilimi için hesaplanan $ET_{\text{Trsaatlik}}$ 'e bölünmesi ile uydu görüntüsünün her bir hücresi için hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında her bir tarih için ayrı olarak ETrF haritaları oluşturulmuştur.

Bu çalışma kapsamında farklı çerçevelere ait Landsat 8 uydu görüntüleri kullanılarak her bir tarih için (toplam 74 adet) ETrF haritası oluşturulmuştur. Her bir görüntüde bulut, gölge, kar gibi unsurlardan etkilenen kalitesiz hücreler (piksel) hatalı ETrF değerlerine neden olacağından maskeleme işlemleri uygulanmıştır. Böylece kalitesiz hücrelerdeki hatalı ETrF değerlerinin yerine o hücreler boş (değersiz) hale getirilmiştir. Maske işlemi ArcGIS yazılımı aracılığıyla Landsat 8 uydu görüntülerinin BQ bantı kullanılarak yapılmıştır. BQ bantında belirli bir sınır değerini üzeri kalitesiz hücre olarak nitelendirilmiştir. Landsat 8 BQ bantına göre kaliteye ilişkin sınır değerlere Anonymous (2018h)'den ulaşılabilir. Bu çalışmada BQ hücre (piksel) değeri 20480'den büyük olan hücreler kalitesiz hücre olarak değerlendirilmiştir. Bu hücrelerin ETrF değerleri, arazi kullanım haritalarına göre tahmin edilerek tekrar oluşturulmuştur. Bu kapsamda her bir uydu görüntüsünde, her bir arazi kullanım türünün ortalama ETrF değerleri sorunsuz hücrelerin değerleri kullanılarak hesaplanmış ve boş değer atanmış her bir hücreye arazi kullanım durumuna göre bir ETrF değeri atanmıştır.

Maskeleme ve doldurma işlemleri uygulanarak son hali verilmiş ETrF haritaları ile detayları Allen vd (2007a) ve Allen vd (2007b)'de verilen yöntemlere göre enterpolasyon tekniği kullanılarak elde edilen iklimsel haritalar kullanılarak her ayın ilk günü için bir ETrF haritası oluşturulmuştur. Bu ETrF haritalarından yararlanılarak her ay için bir ortalama ETrF ($ET_{\text{Traylık}}$) haritası elde edilmiştir. Ardından farklı çerçevelere ait $ET_{\text{Traylık}}$ haritaları birleştirilmiştir. Birleştirilen $ET_{\text{Traylık}}$ haritaları, jeostatistik tekniği ile belirlenen $ET_{\text{Traylık}}$ alansal dağılım haritaları kullanılarak aylık ET ($ET_{\text{aylık}}$) haritasına dönüştürülmüştür (Eşitlik 3.35). Kızılırmak havzası ve yakın

çevresini de kapsayan $ET_{aylık}$ haritaları, havza sınırları kullanılarak kesilmiştir. $ET_{aylık}$ haritaları toplanarak dönemlik ET haritası elde edilmiştir. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için $ET_{aylık}$ haritaları, 01 Nisan 2015 – 01 Ekim 2015 dönemi için hazırlanabilmiştir. 01 Ekim 2014 – 01 Nisan 2015 dönemi ET haritaları bu dönemde çekilen Landsat 8 uydu görüntülerinin aşırı bulutlu olması nedeniyle hazırlanamamıştır. Sonuç olarak ET haritalamada 74 adet Landsat 8 uydu görüntüsünden 61 adedi kullanılabilmiştir.

$$ET_{aylık} = ETrF_{aylık} \times ETr_{aylık} \quad (3.35)$$

3.2.7. Yağış haritalarının karşılaştırılması

Çalışmada 2015 su yılı için meteoroloji istasyonlarında ölçülen ve haritalanan yağış verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemleri üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak MGM ve TARBİL istasyonlarında ölçülen noktasal yağış verileri ve istasyonun bulunduğu noktalar için GPM uydu görüntülerinden alınan yağış değerleri aylık ve yıllık bazda karşılaştırılmıştır. Böylece GPM uydu verilerinin istasyonlarda ölçülen yağış değerleri ile hangi seviyede uyumlu olduğu değerlendirilmiştir. İkinci olarak enterpolasyon tekniklerine dayalı olarak oluşturulan yağış haritaları ile GPM uydu görüntülerinden elde edilen yağış haritaları aylık ve yıllık olarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla alansal yağış dağılım haritalarının yersel çözünürlükleri GPM uydusu yağış haritalarının yersel çözünürlüklerine uygun hale getirilmiştir. Ardından GPM uydusu ve enterpolasyon yağış haritalarının her bir hücreindeki veriler istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda enterpolasyonla alana dağıtılan yağış değerlerinin GPM uydusundan alınan yağış değerleri ile nasıl bir uyum gösterdiği değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmanın bu aşamasında Kızılırmak havzasında GPM uydusu yağış haritalarının enterpolasyon yöntemlerinden elde edilen haritalara göre hata yüzdeleri de harita olarak verilmiştir.

Üçüncü olarak enterpolasyon yöntemi ve GPM uydu ürünleri kullanılarak elde edilen yağış haritalarının doğruluk seviyeleri, test verisi olarak ayrılan yağış verileri kullanılarak (tüm verinin % 30'u) değerlendirilmiştir. Çalışmada yapılan bu karşılaştırma ile enterpolasyon yöntemi ve GPM uydusunun performansları değerlendirilmiştir. Tüm karşılaştırmalarda R^2 , RMSE ve MAE değerleri kullanılmıştır.

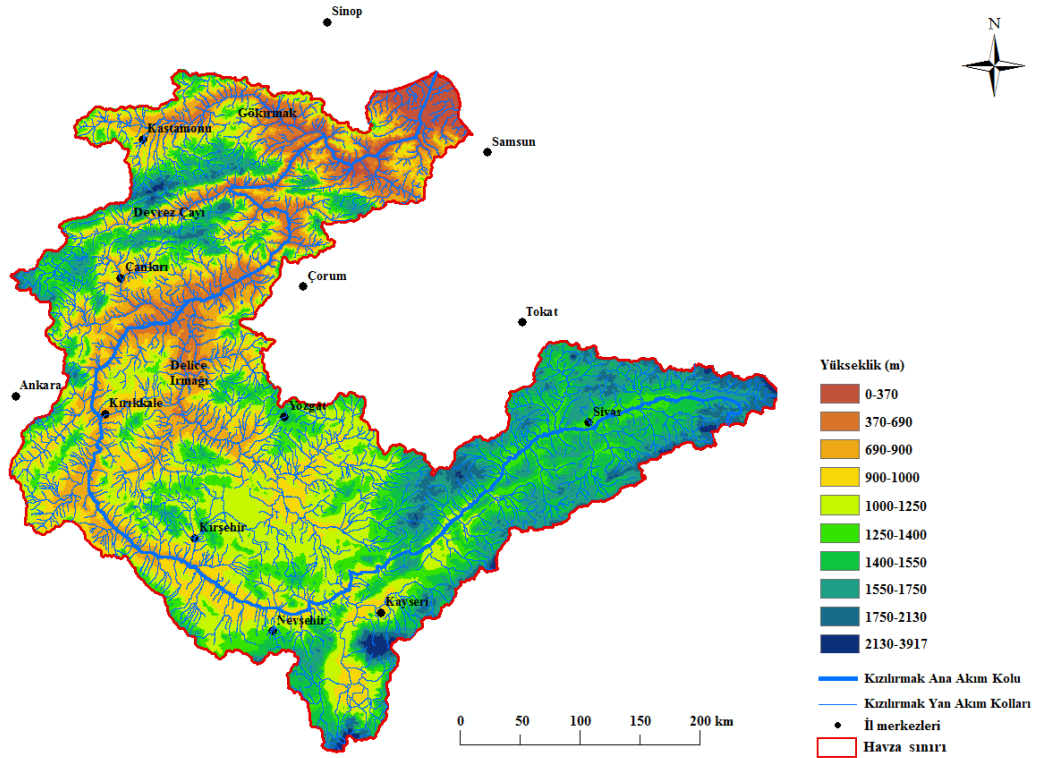
3.2.8. Yağış ve ET haritalarının değerlendirilmesi

Çalışmanın bu aşamasında Kızılırmak havzasında 2015 su yılı ET haritaları ile yağış haritaları havzanın arazi kullanım durumu göz önüne alınarak birlikte değerlendirilmiştir. Havza genelinde arazi kullanım durumuna göre en fazla bulunan bölgeler tarım alanları ve ormanlık alanlardır. Çalışma kapsamında Kızılırmak havzası tarım ve orman alanlarında, aylık ve yıllık olarak gerçekleşen toplam yağış ve ET değerleri ayrı olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda bölgelere göre gerçekleşen yağış ve ET miktarları yağışa dayalı tarımın yapıldığı alanlar ve sulu tarım yapılan alanlar için karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Tarım alanları ve ormanlık alanlarda gerçekleşen toplam yağış ve ET miktarları karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen bu verilerin büyük ölçekli su havzalarında su yönetiminde kullanılma olanakları değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Çalışma Alanının Sayısal Yükseklik Modeli

Bu çalışma için temel veri niteliğinde olan Kızılırmak havzası SYM hazırlanmış ve harita olarak Şekil 4.1’ de verilmiştir. Ayrıca oluşturulan akım ağları ve havza ve çevresinde bulunan il merkezleri SYM haritası üzerinde gösterilmiştir. Kızılırmak havzasında deniz seviyesinden yükseklik 0 ile 3917 m arasında değişim göstermektedir. En yüksek nokta Erciyes dağının zirvesi ve en düşük kot Bafra ilçesinde Kızılırmak’ ın Karadeniz’e döküldüğü noktadır. Havzanın deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1156.36 m’dir. Havzada deniz seviyesinden yüksekliğin 2000 m ve daha yüksek olduğu alanlar havzanın güney ve güney doğu bölümlerinde ve deniz seviyesinden yüksekliğin 1000 m ve daha düşük olduğu bölgelerin ise havzanın kıyı ve orta bölümlerinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.1. Kızılırmak havzası sayısal yükseklik modeli (SYM) haritası

Akım ağlarından da görülebileceği gibi, Kızılırmak havza içerisinde çeşitli büyüklerde birçok yan kolun taşıdığı yüzey suları ile beslenmektedir. Bunlardan en önemlileri Kastamonu sınırlarında doğan ve Sinop sınırlarında Kızılırmak' a kavuşan Gökırmak, Yozgat sınırlarında doğan ve Çorum sınırlarında Kızılırmak' a ulaşan Delice ırmağı ve Çankırı sınırlarında doğan ve Çorum sınırlarında Kızılırmak' a dökülen Devrez çayıdır.

4.2. GPM Sisteminden Elde Edilen Yağış Haritaları

Kızılırmak havzasında 2015 su yılında gerçekleşen aylık yağış miktarlarına ilişkin GPM uydu ürünlerinden elde edilen haritalar Şekil 4.2' de verilmiştir. GPM sisteminden 2015 su yılı için elde edilen en düşük ve en küçük aylık toplam yağış değerleri Çizelge 4.1' de verilmiştir. Buna göre 2015 su yılında aylık toplam yağış değerleri 1.12 mm (Eylül ayı) ile 274.30 mm (Haziran ayı) arasında değişim göstermiştir.

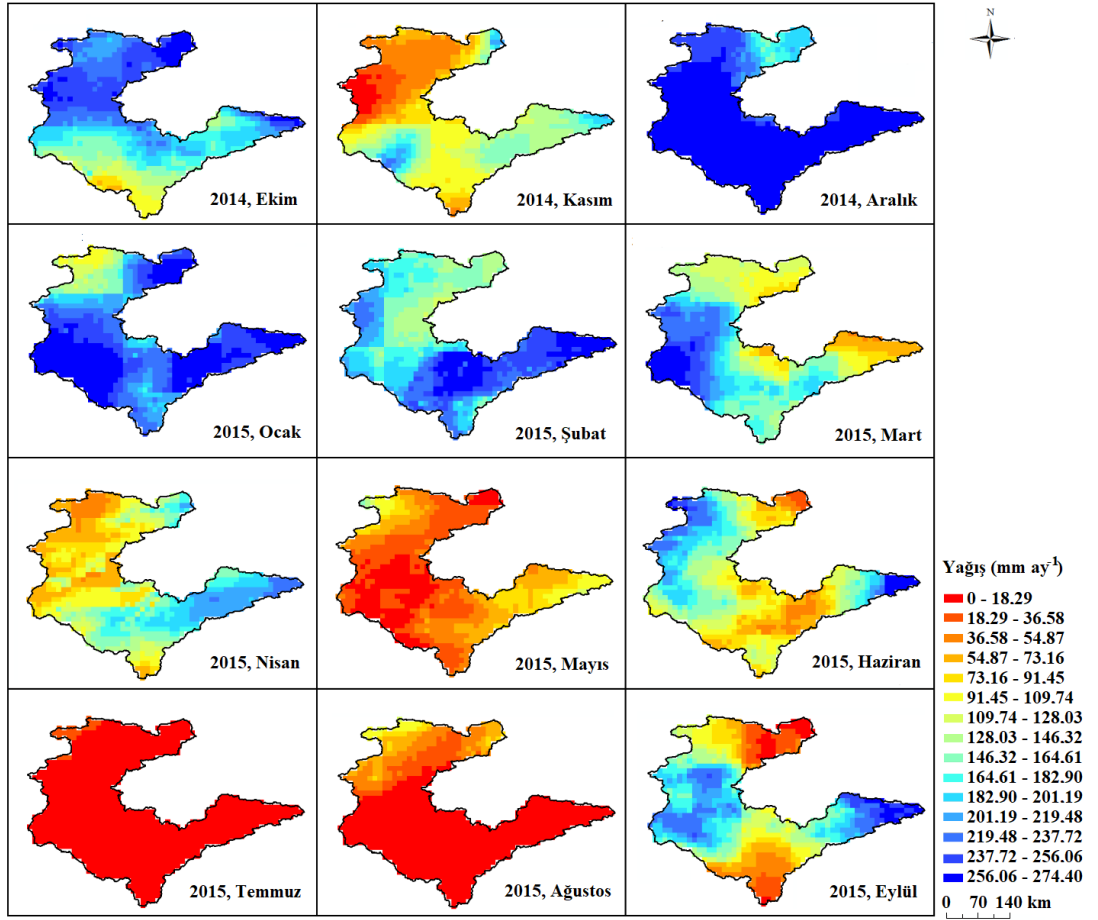
Çizelge 4.1. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylara göre GPM sisteminden elde edilen en düşük ve en küçük aylık toplam yağış değerleri

Aylar	En düşük Aylık Toplam Yağış miktarı (mm)	En Yüksek Aylık Toplam Yağış miktarı (mm)
Ekim	38.81	250.48
Kasım	17.74	206.52
Aralık	180.00	260.83
Ocak	95.17	257.46
Şubat	110.94	257.28
Mart	55.49	251.11
Nisan	20.80	183.69
Mayıs	29.70	109.59
Haziran	36.42	274.30
Temmuz	0.69	27.62
Ağustos	6.39	90.71
Eylül	1.12	250.36

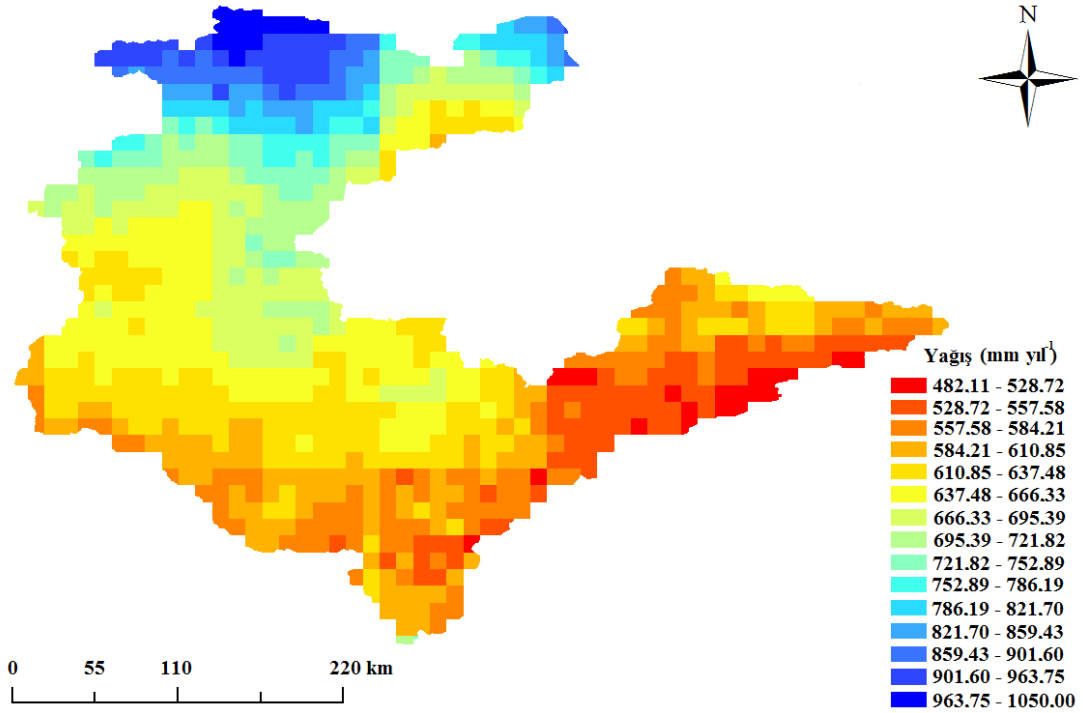
Havza genelinde yağış değişkenliğinin en fazla olduğu ay Haziran ayı iken, en az olduğu ay ise Temmuz ayıdır. Havzada 2015 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında yağış değerlerinin genel olarak diğer aylara göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Burada en yüksek aylık yağış değeri 274.30 mm ile Haziran ayında Kastamonu ili yakınlarında, en düşük aylık yağış değeri ise 0.69 mm ile Temmuz ayında Sivas ili yakınlarında gözlemlenmiştir.

Kızılırmak havzasında 2015 su yılında gerçekleşen yıllık toplam yağış haritaları GPM uydu ürünleri kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 4.3' de harita olarak verilmiştir. GPM sistemine göre çalışmanın yürütüldüğü dönemde havza genelinde yıllık toplam

yağış değerleri 482.11 ile 1048.00 mm arasında değişim göstermiştir. Kızılırmak havzasında 2015 su yılında en yüksek toplam yağış Samsun ve Kastamonu çevrelerinde gerçekleşirken, en düşük toplam yağış Sivas ve Kayseri çevrelerinde gerçekleşmiştir. Çalışma alanının SYM haritası göz önüne alındığında, deniz seviyesinden yüksekliğin fazla olduğu havzanın güney ve güney doğu bölümlerinde yağışın az olduğu, deniz seviyesinden yüksekliğin az olduğu havzanın kıyı kesimlerinde yağışın daha fazla olduğu değerlendirilebilir.



Şekil 4.2. Kızılırmak havzasının GPM-IMERGv03 uydu ürününden elde edilen aylık toplam yağış haritaları



Şekil 4.3. Kızılırmak havzasının GPM-IMERGv03 uydu ürününden elde edilen yıllık toplam yağış dağılım haritası

Çalışmanın bu aşamasında elde edilen bulgular havzanın genel karakteristiği ile genel olarak uyumludur. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde GPM sisteminden elde edilen yağış haritaları ölçülen yağış değerleri kullanılarak detaylı bir şekilde değerlendirilecektir.

4.3. Meteorolojik parametrelerin alansal dağılım haritaları

Bu çalışmada veri temin edilen ve verisi kullanılan istasyon sayıları Çizelge 4.2' de verilmiştir. Çalışmada MGM ve TARBİL istasyonundan toplam 100 adet yağış verisi, toplam 90 adet Ta, RH ve u₂ verisi temin edilmiştir. Veriler kalite kontrolünden geçirilerek çalışmada toplam 96 adet yağış verisi, 87 adet Ta, RH ve u₂ verisi kullanılmıştır.

Çizelge 4.2. Çalışma kapsamında veri temin edilen ve verisi kullanılan istasyon sayıları

Parametre	Veri Temin Edilen İstasyon Sayısı			Verisi Kullanılan İstasyon Sayısı		
	MGM	TARBİL	Toplam	MGM	TARBİL	Toplam
Yağış	31	69	100	30	66	96
Ta, RH, u ₂	24	66	90	22	65	87

4.3.1. Yağış haritaları

Çalışmada Kızılırmak havzasında 2015 su yılında aylık ve yıllık tabanda yağışın alansal dağılımının belirlenmesi için 31 adet MGM ve 69 adet TARBİL istasyonundan yağış verisi temin edilmiştir. Söz konusu veriler kalite kontrolünden geçirilmiş ve çalışmada 30 adet MGM ve 66 adet TARBİL istasyonunda ölçülmüş yağış verileri kullanılmıştır. Bu aşamadan sonra yağış verilerinin istatistiksel dağılımlarının değerlendirilmesi amacıyla, her ay için (Ekim 2014-Eylül 2015) yağış verilerinin tanımlayıcı istatistik değerleri hesaplanmış ve elde edilen bulgular EK 1' de verilmiştir. Verisi kullanılan meteoroloji istasyonlarında ölçülen aylık toplam yağış değerleri 2015 su yılında 0 ile 232.8 mm arasında değişim göstermiştir. Ayrıca ortalama yağış değerleri Ekim 2014 ile Eylül 2015 döneminde 3.43 ile 71.05 mm arasında değişim göstermiştir. Varyasyon katsayısı 33.409 ile 154.458 arasında değişim göstermiştir. Gürsakal, (2015)'e göre varyasyon katsayısı arttığında değişkenlik artmaktadır. Aylık toplam yağış değerinde değişkenlik Temmuz ayında en yüksektir (154.46 mm). Standart sapma değeri Temmuz ayında en düşükken, (5.291) Haziran ayında en yüksektir (55.987). Buna göre Temmuz ayında yağış, diğer aylara göre daha dar bir aralıkta dağılım göstermektedir. Çarpıklık değeri 0'a en yakın olan Haziran ayı yağış değerlerinde simetriklik diğer aylara göre daha fazlayken, 0'dan en uzakta olan Ekim ayı yağış değerlerinde simetriklik diğer aylara göre daha azdır. Çarpıklık değerlerinin hepsi pozitif olduğu için 2015 su yılı aylık yağış değerlerinde negatif çarpıklık bulunmamaktadır. Yağış verilerinde basıklık değeri Haziran ayı hariç diğer aylarda 3'ten büyüktür. Yağış verileri normal dağılıma göre daha sivri bir dağılım göstermektedir. Bu nedenle çalışma kapsamında kullanılan aylık yağış verileri normal dağılım göstermeyip logaritmik dönüşüme tabi tutulmuştur. Ayrıca yapılan değerlendirmelerde veri setinin izotropik olduğu belirlenmiştir.

Çalışmada yağışın alansal dağılımının belirlenmesi için istasyonlarda ölçülen aylık yağış verileri kullanılarak 3 farklı enterpolasyon yöntemi (IDW, OK, COK) değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerin test verilerindeki (tüm verinin % 30'u) istatistiksel performansları (R^2 , RMSE ve MAE değerleri) Çizelge 4.3' de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yağış verilerinde her ay için çoğunlukla COK yöntemi öne çıkmıştır. Bu nedenle yağış verilerinin enterpolasyonla alana dağıtılmasında COK yöntemi

kullanılmıştır. Bu çalışma ile uyumlu olarak daha önce yapılan bazı çalışmalarda da yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde kriging yöntemleri kullanılmıştır (Bargaoui ve Chebbi, 2009 ve Bostan vd 2012).

Yağışın enterpolasyonla alana dağıtılmasında kullanılan COK yöntemi için seçilen yarı varyogram modelleri ve modellerin Nugget, Sill, Range, Nugget/Sill ve R^2 değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Modellerin R^2 değerleri 0.786 ile 0.959 arasında değişim göstermiştir. Yarı varyogram modeli olarak 2015 su yılında Ocak, Şubat, Mayıs ve Temmuz aylarında üssel, diğer aylarda ise küresel yarı varyogram modeli seçilmiştir. 2015 su yılında Nugget değeri en düşük ve en yüksek yarı varyogram modeli sırasıyla Nisan ve Ocak ayında tespit edilmiştir. Sill değeri ise 125.0 ile 700.1 arasında değişim göstermiştir. Range değerleri uzaysal bağımlılığın mesafesini göstermektedir. Uzaysal bağımlılığın sınıflandırılmasında ise Nugget değerinin, Sill değerine oranının yüzde olarak ifadesi kullanılmaktadır. Bu oran % 25'den küçükse değişken kuvvetli uzaysal bağımlı, % 25 ile % 75 arasında ise orta dereceli uzaysal bağımlı, % 75'den büyükse zayıf uzaysal bağımlı olarak ifade edilmektedir (Akbaş, 2004; Cambardella ve Karlen, 1999). Buna göre çalışma alanında yağışın range değeri en yüksek Temmuz ayında en düşük Ekim ayında tespit edilmiştir. 2015 su yılında gerçekleşen yağış değerleri 2015 yılı Ocak, Şubat, Mayıs, Temmuz aylarında orta dereceli uzaysal bağımlı, 2014 yılı Ekim, Kasım, Aralık 2015 yılı Mart, Nisan, Haziran, Ağustos ve Eylül aylarında kuvvetli uzaysal bağımlılığa sahiptir.

Çizelge 4.3. Farklı enterpolasyon yöntemlerinin Kızılırmak havzasında 2015 su yılında aylık yağışların alana dağıtılmasındaki istatistiksel performans parametreleri

Aylar	İstatistiksel Parametreler	IDW	OK	COK	Aylar	İstatistiksel Parametreler	IDW	OK	COK
Ekim	RMSE	28.593	26.985	25.172	Nisan	RMSE	10.365	11.152	11.215
	MAE	15.256	14.365	13.967		MAE	10.698	8.699	7.129
	R ²	0.623	0.672	0.700		R ²	0.229	0.279	0.276
Kasım	RMSE	22.364	20.365	21.496	Mayıs	RMSE	18.694	15.622	15.696
	MAE	10.623	13.650	11.933		MAE	17.688	16.650	15.225
	R ²	0.554	0.540	0.553		R ²	0.460	0.459	0.496
Aralık	RMSE	11.365	9.365	10.785	Haziran	RMSE	21.348	20.598	20.631
	RMSE	11.355	12.354	10.953		RMSE	25.698	22.959	23.382
	R ²	0.651	0.658	0.669		R ²	0.237	0.258	0.259
Ocak	MAE	16.369	15.361	16.165	Temmuz	MAE	6.659	4.638	4.156
	RMSE	17.365	18.690	18.236		RMSE	5.697	4.697	3.963
	R ²	0.703	0.715	0.593		R ²	0.526	0.523	0.539
Şubat	MAE	22.369	21.360	22.369	Ağustos	MAE	12.898	11.395	10.745
	RMSE	12.364	14.359	13.499		RMSE	9.690	7.589	8.029
	R ²	0.288	0.270	0.286		R ²	0.573	0.599	0.602
Mart	RMSE	20.365	21.400	21.432	Eylül	RMSE	8.333	8.102	8.239
	MAE	16.654	14.487	15.263		MAE	5.663	5.536	5.769
	R ²	0.226	0.259	0.275		R ²	0.672	0.681	0.682

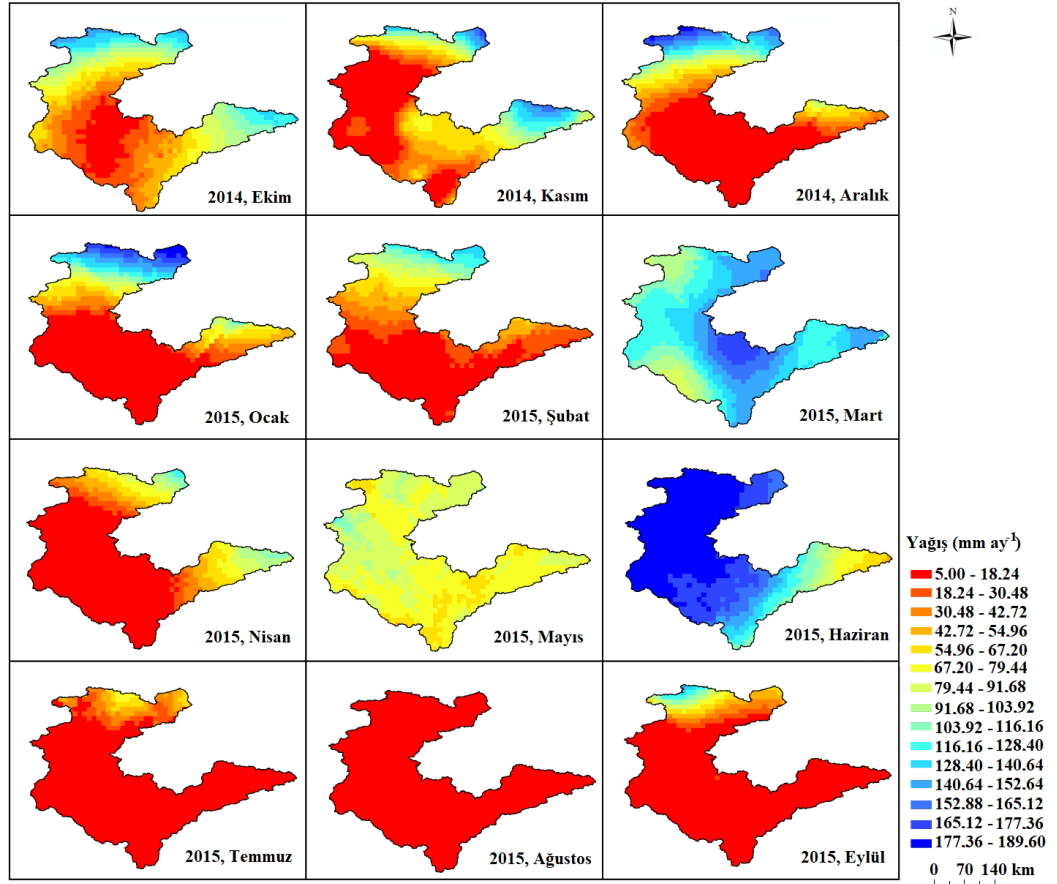
Çizelge 4.4. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylık yağış değerlerine göre seçilen yarı varyogram modellerinin Nugget, Sill, Range, Nugget/Sill ve R² değerleri

Aylar	Yarı Varyogram Modeli	Nugget (Co)	Sill (Co+Cs)	Range (m)	Nugget/Sill (%)	R ²
Ekim	Küresel	18.0	455.0	16060.0	0.039560	0.786
Kasım	Küresel	48.6	533.6	60010.0	0.091079	0.912
Aralık	Küresel	8.7	125.0	52360.0	0.069600	0.959
Ocak	Üssel	370.5	555.0	120620.0	0.667568	0.923
Şubat	Üssel	330.0	700.1	138900.0	0.471361	0.893
Mart	Küresel	12.0	158.3	59200.0	0.075805	0.889
Nisan	Küresel	2.0	140.2	43200.0	0.014265	0.853
Mayıs	Üssel	155.2	350.9	112400.0	0.442291	0.792
Haziran	Küresel	28.0	222.8	69130.0	0.125673	0.796
Temmuz	Üssel	300.0	500.3	140780.0	0.444296	0.813
Ağustos	Küresel	35.0	330.0	60050.0	0.106061	0.917
Eylül	Küresel	38.0	300.0	57080.0	0.126667	0.936

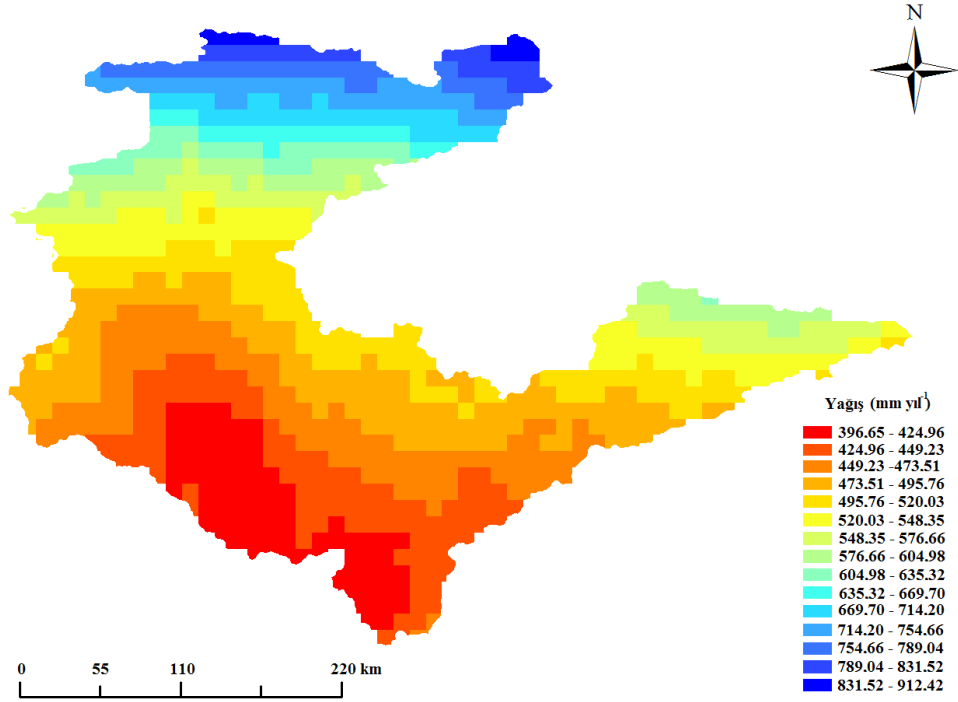
Kızılırmak havzası 2015 su yılı için COK yöntemi kullanılarak elde edilen aylık yağış dağılım haritaları Şekil 4.4' de verilmiştir. Aylık yağış değerleri 2014 yılı Ekim, Kasım, Aralık ve 2015 yılı Ocak ve Şubat aylarında havzada benzer dağılım göstermektedir. Bu aylarda havzanın kıyı bölgelerinde olan Samsun, Sinop ve

Kastamonu illeri ve çevrelerinde yağış değerleri havzanın diğer bölgelerine göre daha yüksektir. 2015 yılı Mart ayında Kızılırmak havzası genel olarak yağışlıdır ve yağışın havza genelinde dağılımı önceki aylara göre daha dengelidir. Bu ayda Yozgat iline bağlı Çayıralan ilçesi ve çevresinde yağış değerlerinin havzanın diğer bölgelerine oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Nisan ayında gerçekleşen yağış değerleri havzanın kıyı ve güney doğu bölgelerinde havzanın diğer bölgelerine göre nispeten daha yüksektir. Mayıs ve Ağustos aylarında havzada gerçekleşen yağış değerleri diğer aylara göre daha dar bir aralıkta değişim göstermektedir. Havzada Haziran ayında gerçekleşen yağış değerlerinin diğer aylara göre daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Fakat Haziran ayında havzanın güney ve güney doğu bölgelerinde yer alan Sivas ve Kayseri illeri ve çevrelerinde yağış havzanın diğer bölgelerine göre daha düşüktür. 2015 su yılında havza genelinde en düşük yağışın gerçekleştiği aylar Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Eylül ayında ise yağışın Samsun, Kastamonu ve Çankırı çevrelerinde havzanın diğer bölgelerine göre daha daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yıllık toplam yağış dağılım haritası Şekil 4.5' de verilmiştir. Çalışma alanında 2015 su yılında toplam yağış 396.65 ile 912.42 mm arasında değişim göstermiştir. Havza geneline bakıldığında, kıyı bölgelerde bulunan Samsun, Sinop ve Kastamonu çevrelerinde diğer bölgelere göre yağış daha yüksek ve havzanın güney bölümlerinde bulunan Kayseri çevresinde ise yağış daha düşüktür. Çalışma alanının yağış haritaları SYM modeli ile karşılaştırıldığında, havza genelinde deniz seviyesinden yükseklik değerlerinin yağış dağılımı ile uyumlu olduğu değerlendirilebilir.



Şekil 4.4. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için Co-Kriging (COK) enterpolasyon yöntemi ile hazırlanan aylık yağış dağılım haritaları



Şekil 4.5. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için Co-Kriging (COK) enterpolasyon yöntemi ile hazırlanan yıllık toplam yağış dağılım haritası

4.3.2. Saatlik hava sıcaklığı, oransal nem ve rüzgâr hızı haritaları

Çalışma kapsamında kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekim zamanlarındaki saatlik Ta, RH, u₂ değerlerinin alansal dağılımının belirlenmesinde, toplam 24 adet MGM ve 66 adet TARBİL istasyonu verisi kalite kontrol işleminden geçirilmiş ve 22 adet MGM ve 65 adet TARBİL istasyon verisinin kullanılmasına karar verilmiştir. Çalışmada Landsat 8 uydu görüntüsü çekiminin gerçekleştiği zaman dilimi için meteoroloji istasyonlarından temin edilen saatlik Ta, RH, u₂ değerlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri sırasıyla EK 2, EK 3 ve EK 4’te verilmiştir. Ta değeri -0.9 °C ile 33.8 °C arasında, RH değeri % 13 ile % 97 arasında ve u₂ değeri 0.338 ms⁻¹ ile 8.693 ms⁻¹ arasında değişim göstermiştir. Varyasyon katsayısı Ta için 3.808 ile 75.875 arasında, RH için 8.032 ile 77.963 arasında ve u₂ için 13.010 ile 67.031 arasında değişim göstermiştir. Bilindiği gibi varyasyon katsayısı arttıkça değişkenlik artmaktadır (Gürsakal, 2015; O’Byrant vd, 2009). Bu durumda Ta verilerinde varyasyon katsayısının en yüksek olduğu 5 Şubat 2015 tarihinde değişkenlik en fazla iken en düşük olduğu 3 Eylül 2015 tarihinde değişkenlik en azdır. Saatlik RH verilerinde değişkenlik en fazla 19 Kasım 2014 tarihinde iken, en az 1 Temmuz tarihindedir. Saatlik u₂ verilerinde ise en fazla değişkenlik 19 Eylül 2015 tarihinde iken, en az değişkenlik 5 Şubat 2015 tarihinde tespit edilmiştir. Kullanılan veri setinde Ta değerlerinde standart sapma en düşük (0.718) 12 Kasım tarihinde iken, en yüksek (2.471) 5 Şubat tarihindedir. Kullanılan veri setinde, hesaplanan çarpıklık değerlerine göre sola çarpık ve sağa çarpık Ta, RH ve u₂ verileri bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan veri setinde hesaplanan basıklık değerleri göz önüne alındığında, kullanılan Ta, RH ve u₂ verilerinden bazılarının normal dağılıma göre daha basık bazılarının da daha sivri olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Ta, RH ve u₂ verilerinin hepsi normal dağılım göstermediğinden logaritmik dönüşüme tabi tutulmuştur. Ayrıca yapılan değerlendirmelerde Ta, RH ve u₂ verilerinin izotropik olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada saatlik iklim verilerinin enterpolasyon ile alana dağıtılmasında kullanılan en uygun yöntemin belirlenmesi için aylık verilere dayalı model performansları kullanılmıştır. Alternatif enterpolasyon yöntemlerin Ta, RH ve u₂ test verilerindeki başarıları R², RMSE ve MAE değerleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerin istatistiksel performansları Çizelge 4.5’ de verilmiştir. Elde edilen R², RMSE ve MAE değerlerine göre, 2015 su yılında istatistiksel performansa göre öne çıkan yöntem Ta için Ocak, Mart ve Ekim ayı hariç diğer aylarda IDW, RH için Ocak

ve Mayıs ayları hariç IDW, u_2 için Mart ve Nisan ayları hariç IDW yöntemi öne çıkmıştır. OK ve COK yöntemlerinin ön plana çıktığı aylarda bu yöntemlerin R^2 , RMSE ve MAE değerleri incelen 3 alternatif yöntemde bir birine oldukça yakındır. Bu nedenle saatlik Ta, RH ve u_2 verilerinin alansal dağılım haritalarının hazırlanmasında birliktelik sağlanması için IDW yöntemi kullanılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda bu çalışma ile benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Chuanyan vd (2005)'de Çin'de Ta' nın alansal dağılımının haritalarının hazırlanmasında IDW, OK, Spline, Regresyon yöntemlerini kullanmışlardır. Bazı aylarda IDW yönteminin RMSE ve MAE değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Chai vd (2011)'de Çin'de yaptıkları çalışmada Ta' nın alansal dağılımının belirlenmesinde IDW ve OK enterpolasyon yöntemlerini kullanmışlardır. Bazı aylarda IDW'nin OK' den daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. İngiltere'de yapılan bir başka çalışmada ise u_2 'nin alansal dağılımının belirlenmesinde IDW yöntemi kullanılmıştır (Luo vd, 2008)

Çalışmada 37 farklı güne ait Landsat 8 uydu görüntülerinin çekim saatleri için IDW enterpolasyon yöntemine göre oluşturulan Ta haritaları Şekil 4.6' da, RH haritaları Şekil 4.7'de ve u_2 haritaları Şekil 4.8'de verilmiştir. Ta değerlerinin Landsat 8 çekim anında havza genelindeki dağılımında çok büyük farklılıklar olmasada, bölgesel farklılıkların bir çerçevesinin en ve boyunun yaklaşık 170-180 km olan Landsat 8 uydu görüntülerinin işlenmesinde hassasiyet bakımından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Kızılırmak havzasında genel olarak Ta yaz aylarında en yüksek değerlere ve kış aylarında en düşük değerlere ulaşmaktadır. Bölgede Ta' nın nispeten daha yüksek olduğu dönemlerde havza genelindeki Ta farklılıklarının arttığı gözlenmiştir. Bununla birlikte yersel iklimsel olayların daha sık yaşandığı dönemlerde Ta farkı beklenen değerlerin üzerine çıkabilmektedir (örnek 12 Eylül 2015).

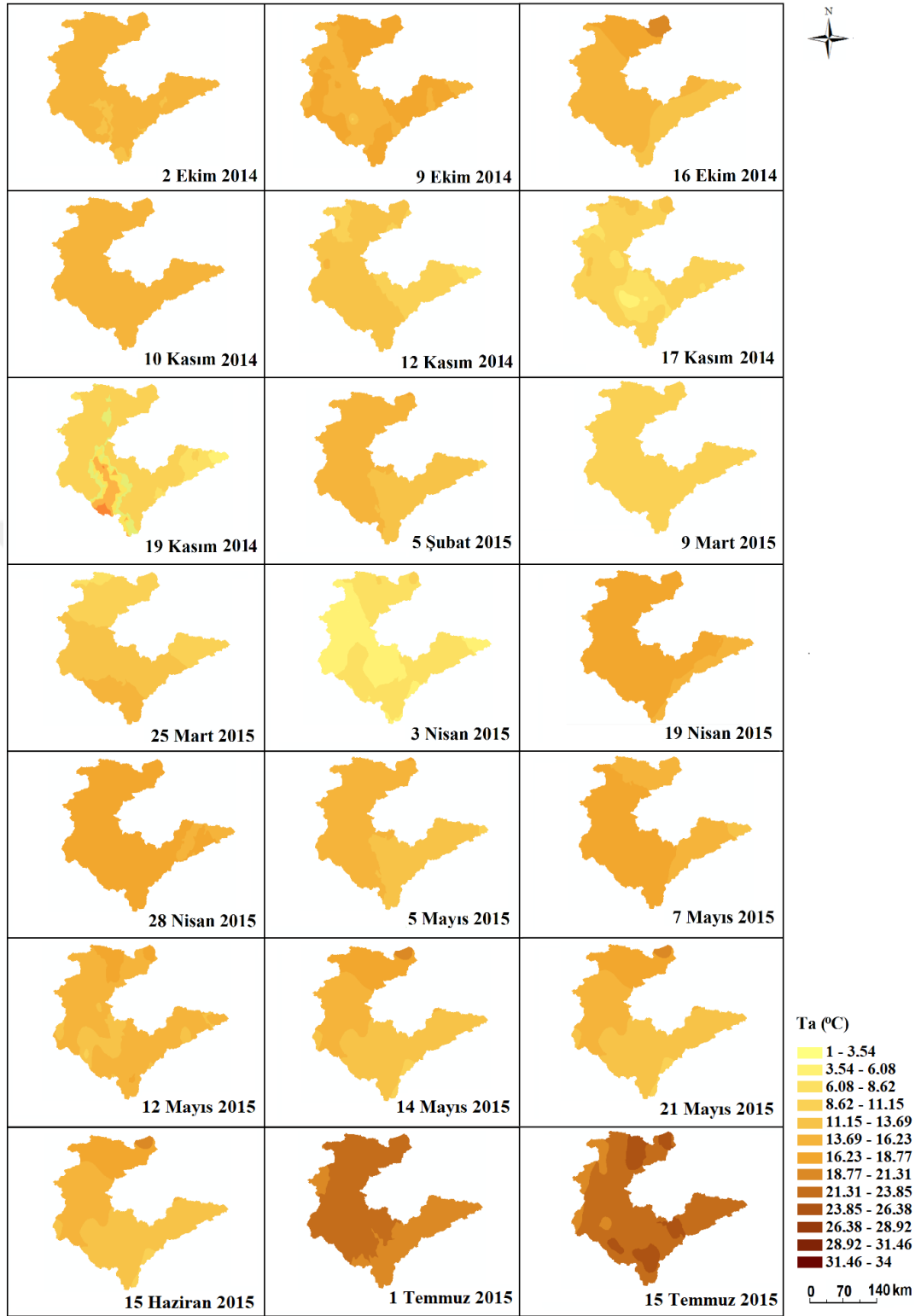
Çalışmada kullanılan veri setine göre çalışma alanında en düşük RH değerleri Temmuz ayında, en yüksek RH değerleri ise Kasım ayında gerçekleşmiştir. 2 Ekim, 9 Ekim, 10, 12 ve 19 Kasım, 9 ve 25 Mart, 19 ve 28 Nisan, 21 Mayıs, 15, 24, 26 ve 31 Temmuz, 9, 11, 16 ve 18 Ağustos, 3, 10, 12, 17, 19, 26 ve 28 Eylül tarihinde uydu görüntüsünün çekim saatinde, RH değerleri havzanın kıyı bölümlerinde özellikle Kastamonu ve Çankırı illeri ve çevrelerinde havzanın diğer bölgelerine göre daha yüksektir. Havza genelinde 16 Ekim ve 17 Kasım tarihinde uydu görüntüsünün çekildiği saatlerde RH değerleri havzanın tamamında yüksek değerlere sahiptir. Eylül ayında (12, 17 ve 28 Eylül) uydu görüntüsünün çekildiği saatte genel olarak RH

değerleri geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Ayrıca 21 Mayıs tarihinde de RH değeri diğer tarihlere göre daha geniş bir aralıkta değişim göstermiştir.

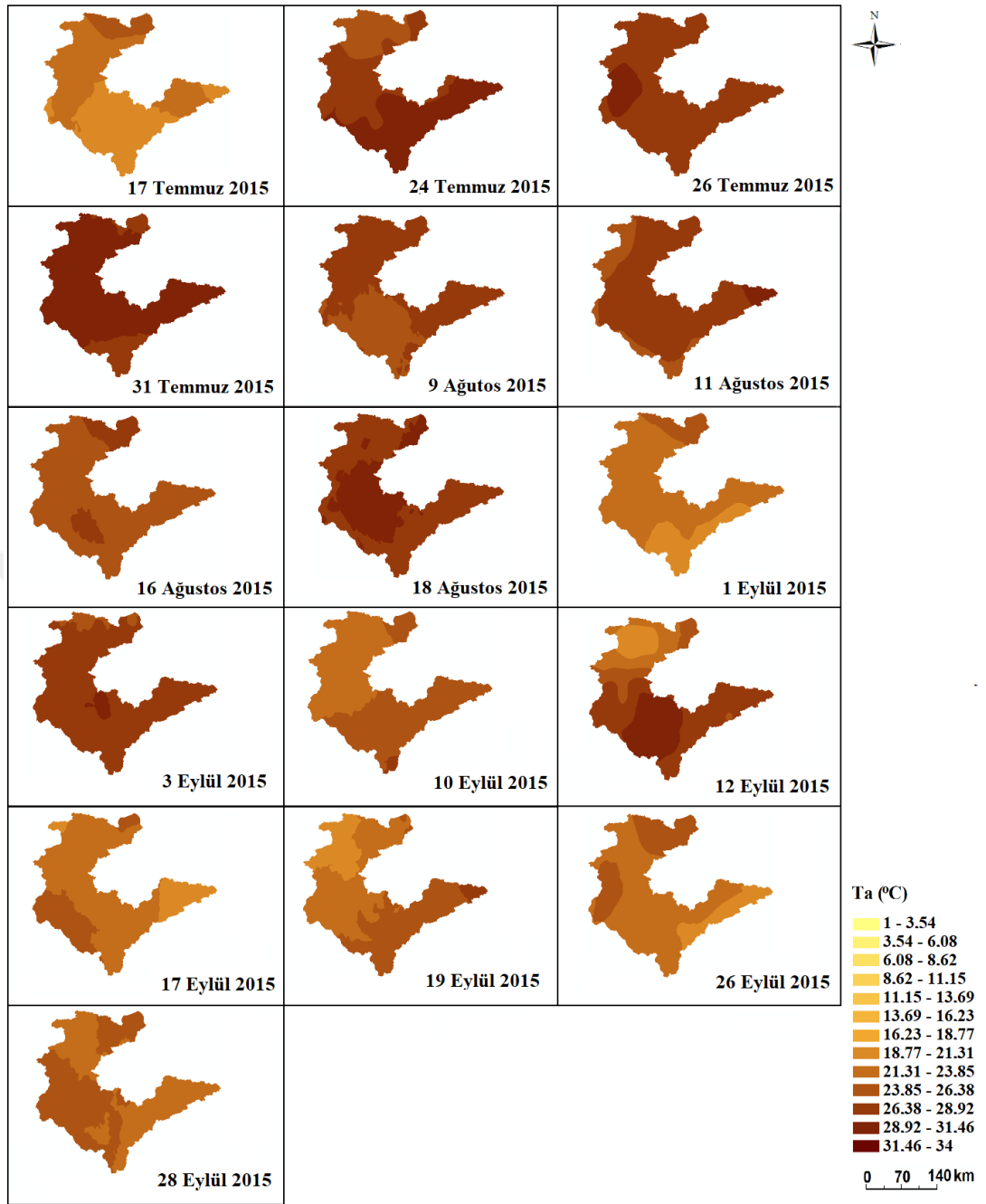
Çizelge 4.5. Kızılırmak havzası 2015 su yılı aylık hava sıcaklığı, oransal nem ve rüzgâr hızı için alternatif enterpolasyon yöntemlerinin istatistiksel performansları

Aylar	İstatistiksel Parametreler	Ta (°C)			u ₂ (ms ⁻¹)			RH (%)		
		IDW	OK	COK	IDW	OK	COK	IDW	OK	COK
Ekim	R ²	0.87	0.88	0.89	0.85	0.84	0.83	0.93	0.91	0.92
	RMSE	6.56	6.49	6.47	9.26	9.55	9.89	10.89	11.20	12.01
	MAE	7.97	6.55	6.71	8.65	9.63	10.65	11.23	11.28	12.80
Kasım	R ²	0.89	0.88	0.86	0.88	0.87	0.88	0.98	0.96	0.98
	RMSE	6.81	6.76	6.72	9.53	9.81	10.16	11.17	11.47	12.28
	MAE	8.24	6.93	6.99	8.92	10.19	10.92	11.44	11.55	13.06
Aralık	R ²	0.83	0.81	0.80	0.91	0.90	0.90	0.97	0.97	0.96
	RMSE	8.07	7.02	6.98	9.79	10.07	10.42	11.45	11.73	12.55
	MAE	10.50	9.31	9.28	10.19	11.74	11.18	11.65	11.81	13.31
Ocak	R ²	0.88	0.88	0.89	0.92	0.91	0.91	0.98	0.98	0.98
	RMSE	10.32	9.29	9.23	10.06	10.32	10.69	11.73	12.00	12.82
	MAE	12.77	12.00	11.54	11.46	13.31	11.87	11.86	12.08	13.57
Şubat	R ²	0.78	0.76	0.77	0.91	0.89	0.90	0.93	0.92	0.93
	RMSE	10.52	9.46	9.69	11.61	13.08	13.20	13.71	13.85	14.71
	MAE	12.79	11.86	11.98	12.82	14.69	13.47	13.92	14.11	14.96
Mart	R ²	0.77	0.78	0.78	0.91	0.92	0.92	0.87	0.86	0.86
	RMSE	11.07	9.87	9.84	10.75	12.30	11.64	12.22	12.38	13.88
	MAE	15.05	14.29	13.83	13.74	15.31	14.16	14.39	14.36	15.77
Nisan	R ²	0.94	0.93	0.94	0.84	0.85	0.83	0.93	0.92	0.93
	RMSE	13.32	10.87	11.10	11.02	12.56	11.84	12.34	12.64	14.15
	MAE	17.32	15.99	15.08	15.01	16.88	14.85	14.60	14.62	16.03
Mayıs	R ²	0.76	0.75	0.76	0.87	0.87	0.87	0.97	0.97	0.98
	RMSE	6.26	6.91	7.49	8.28	7.39	9.66	10.40	10.26	10.65
	MAE	7.27	7.92	8.71	6.26	7.27	10.33	11.67	11.52	11.67
Haziran	R ²	0.86	0.86	0.86	0.94	0.93	0.92	0.88	0.88	0.87
	RMSE	6.02	6.68	7.26	7.99	7.06	9.42	10.17	10.03	10.42
	MAE	5.76	6.43	6.66	7.71	6.78	9.13	9.89	9.06	10.15
Temmuz	R ²	0.81	0.80	0.79	0.85	0.84	0.83	0.81	0.80	0.81
	RMSE	8.32	8.97	9.55	10.28	9.36	11.72	12.46	12.32	12.71
	MAE	8.06	8.72	8.96	10.00	9.07	11.42	12.18	11.36	12.44
Ağustos	R ²	0.74	0.71	0.72	0.93	0.91	0.92	0.76	0.75	0.75
	RMSE	12.84	13.49	14.07	14.80	13.88	16.24	16.98	16.84	17.23
	MAE	12.58	13.24	13.48	14.52	13.59	15.94	16.70	15.88	16.96
Eylül	R ²	0.73	0.72	0.71	0.95	0.94	0.94	0.86	0.83	0.84
	RMSE	18.17	18.82	19.40	20.13	19.21	21.57	22.31	22.17	22.56
	MAE	17.91	18.57	18.81	19.85	18.92	21.27	22.03	21.21	22.29

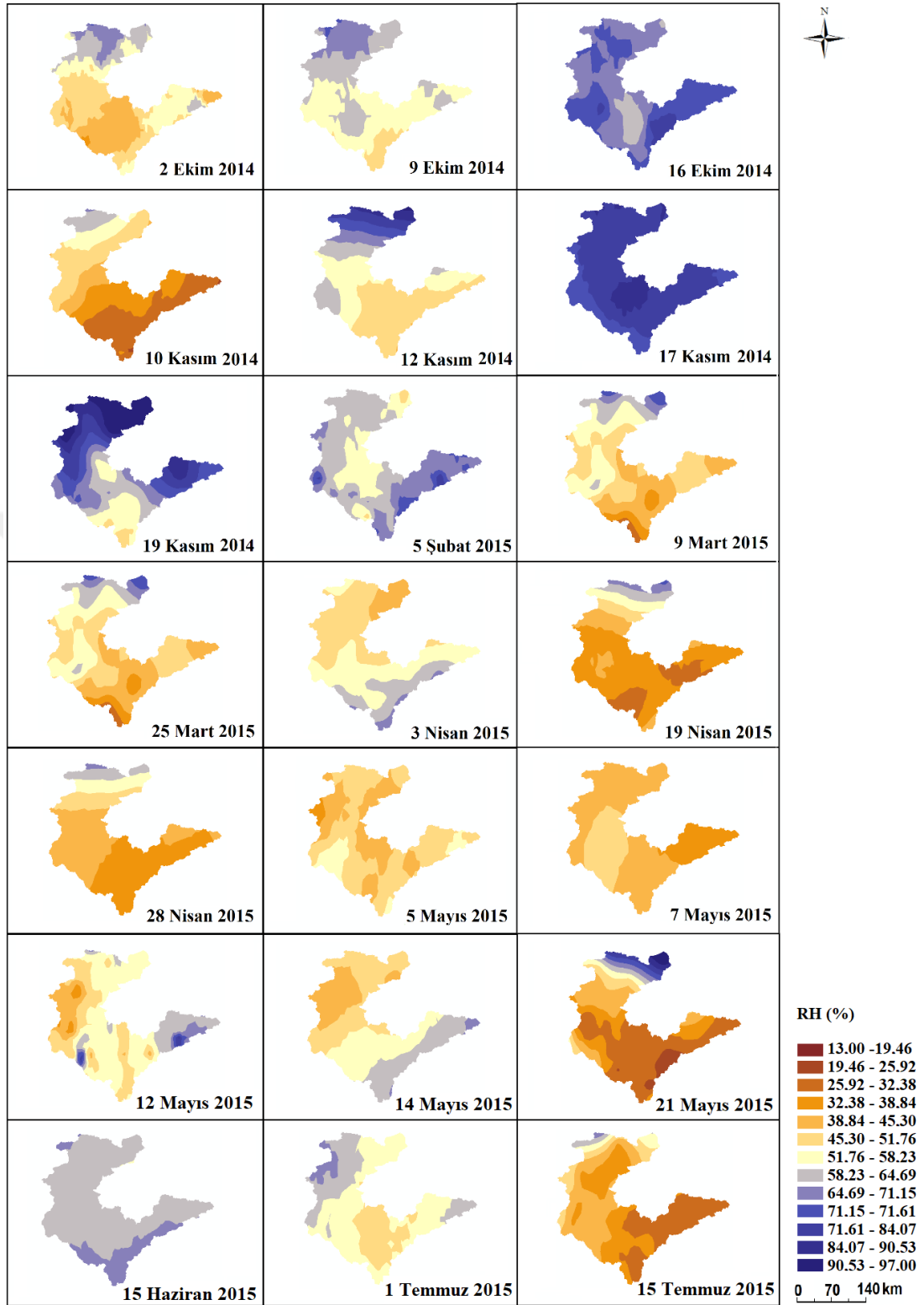
Çalışma kapsamında 2015 su yılı için elde edilen u_2 haritalarına göre, u_2 değerlerinin havza içerisinde aylara göre çok değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. 2014 yılı 2 Ekim ve 9 Ekim tarihinde yüksek olan u_2 değerleri 2014 yılı 16 Ekim'den 2015 yılı 15 Temmuz tarihine kadar azalma göstermiştir. Ardından u_2 değeri 15 Temmuzda artmış ve 24 Temmuz tarihinde tekrar azalmıştır. 26 Temmuz ve 16 Ağustos tarihinde ise genel olarak diğer aylara oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Havza içerisinde u_2 değerlerinin en değişken olduğu tarih 19 Eylül tarihidir. Kızılırmak havzasında 19 Eylül tarihli uydu görüntüsünün çekildiği saatte u_2 değerleri havzanın güney ve güney doğu bölgelerinde yer alan Sivas ve Kayseri illeri ve çevrelerinde havzanın diğer bölgelerine genel olarak göre daha yüksektir.



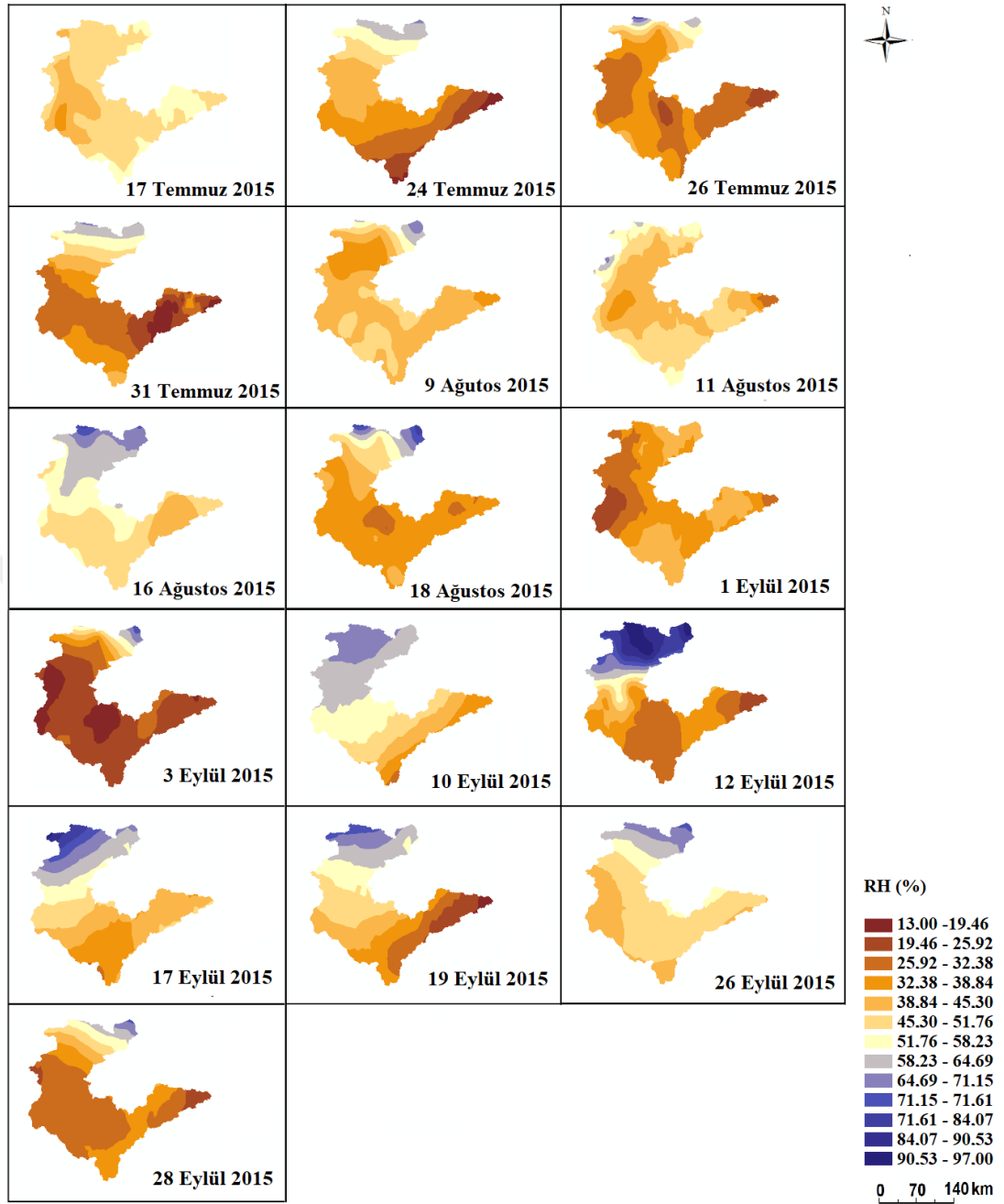
Şekil 4.6. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihte saat 11:00 – 12:00 arasındaki hava sıcaklığı (Ta) haritaları



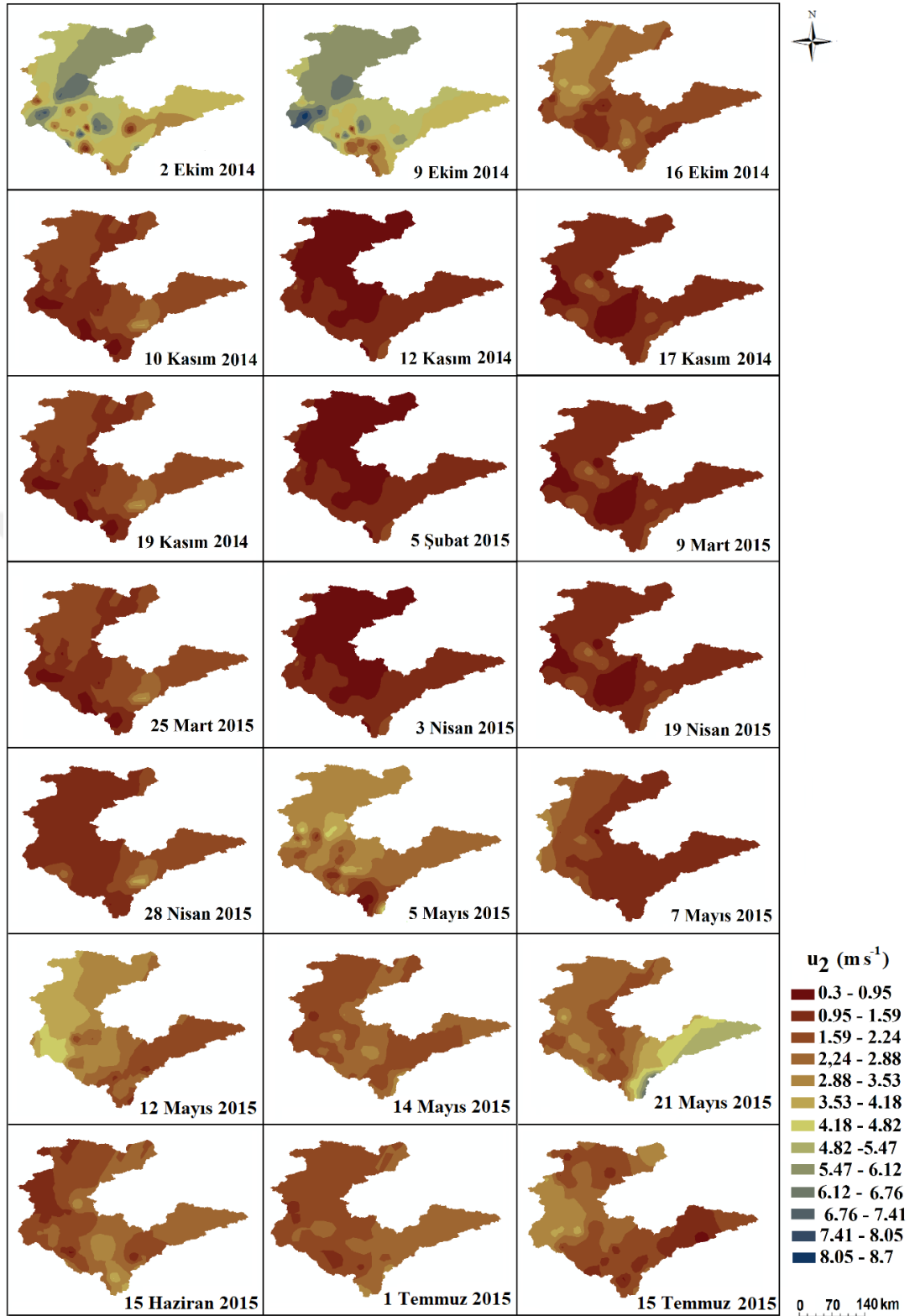
Şekil 4.6. (devam)



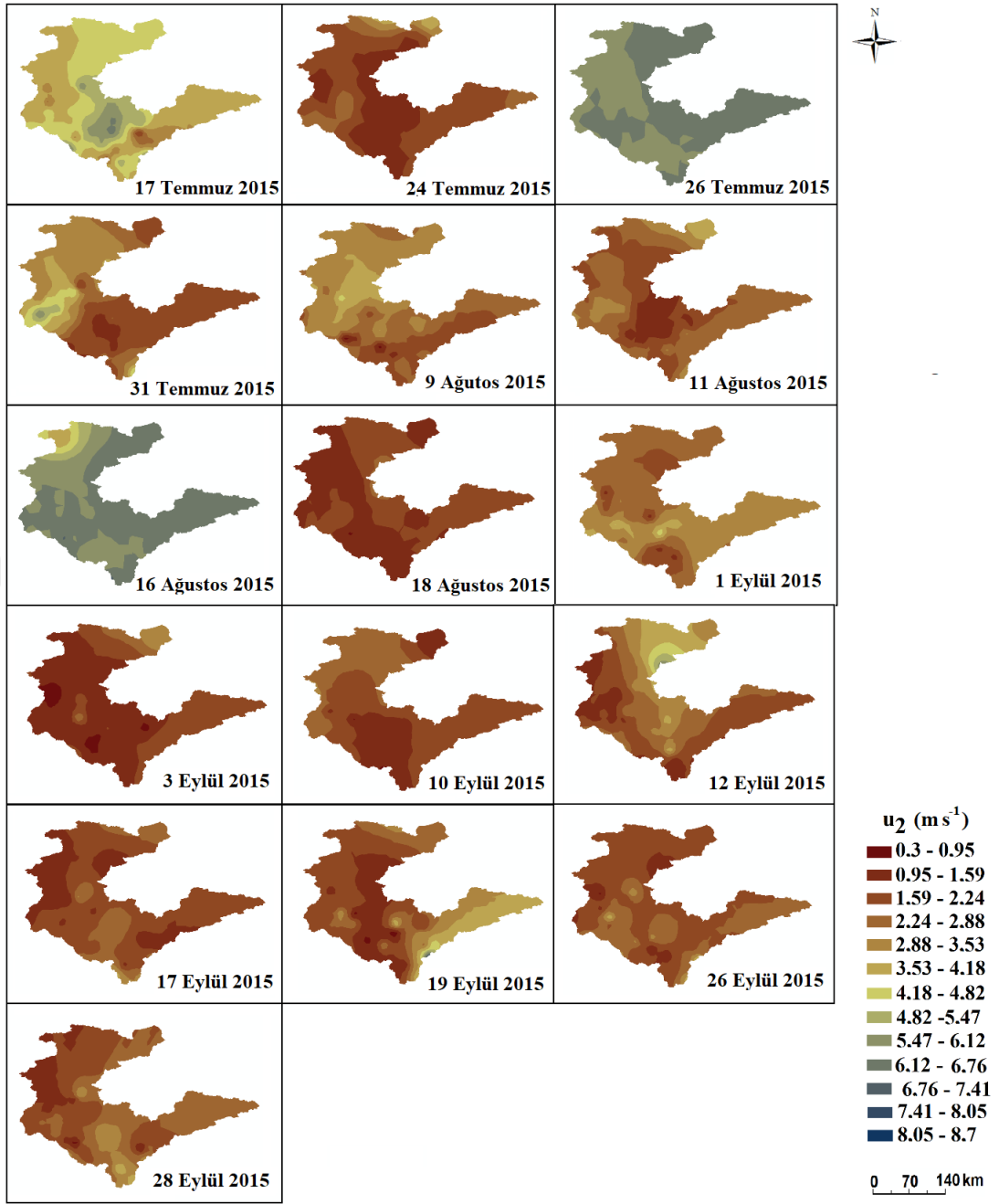
Şekil 4.7. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihlerde saat 11:00 – 12:00 arasındaki oransal nem (RH) haritaları



Şekil 4.7. (devam)



Şekil 4.8. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihlerde saat 11:00 – 12:00 arasındaki rüzgâr hızı (u_2) haritaları



Şekil 4.8. (devam)

4.3.4. Referans bitki su tüketimi (ETr) alansal dağılım haritaları

Çalışma kapsamında toplam 24 adet MGM ve 66 adet TARBİL verisi kalite kontrolden geçirilmiş ve 22 adet MGM ve 65 adet TARBİL istasyon verileri kullanılarak ET_{saatlik} ve $ET_{\text{aylık}}$ değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra ET_{saatlik} (her bir uydu görüntüsü çekim saati için) ve $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinin alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır. Bu amaçla çalışmada ilk önce ET_{saatlik} ve $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmıştır. ET_{saatlik} ve $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinin tanımlayıcı istatistik değerleri sırasıyla EK 5 ve EK 6'da verilmiştir. Çalışmada $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinin 15.67 mm ile Ocak ayında en düşük, yaklaşık 345.63 mm ile Temmuz ayında en yüksek olduğu gözlemlenmiştir. ET_{saatlik} değerleri ise 0.063 ile 1.005 mm arasında değişim göstermiştir. $ET_{\text{aylık}}$ için en düşük standart sapma değeri (8.775) Şubat ayında iken, en yüksek standart sapma değeri (38.425) ise Temmuz ayındadır. Buna göre $ET_{\text{aylık}}$ verileri, Şubat ayında diğer aylara göre daha dar bir aralıkta dağılım gösterirken, Temmuz ayında daha geniş bir aralıkta dağılım göstermiştir. ET_{saatlik} değerlerinin standart sapması ise 0.047 ile 0.506 arasında değişim göstermiştir. Buna göre ET_{saatlik} verileri diğer tarihlere göre 19 Kasım 2014 tarihinde daha dar bir aralıkta değişim gösterirken, 12 Mayıs tarihinde daha geniş bir aralıkta dağılım göstermiştir. Varyasyon katsayısı $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinde 10.264 ile 29.164 arasında ET_{saatlik} değerlerinde 8.244 ile 94.703 arasında değişmektedir. Buna göre, $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinde en fazla değişkenlik Nisan ayında iken, en az değişkenlik Ocak ayında tespit edilmiştir. ET_{saatlik} değerlerinde ise, en fazla değişkenliğin 2 Ekim 2014 tarihinde ve en az değişkenlik 12 Mayıs tarihinde olduğu saptanmıştır. Çarpıklık değeri 0'dan küçük olan ET_{saatlik} ve $ET_{\text{aylık}}$ verileri sola çarpık, 0'dan büyük olan ET_{saatlik} ve $ET_{\text{aylık}}$ verileri sağa çarpık olarak nitelendirilebilir. ET_{saatlik} ve $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinde negatif en düşük çarpıklık katsayısı sırasıyla -3.167 ve -0.480 iken, pozitif en büyük çarpıklık katsayısı sırasıyla 1.044 ve 0.615 olarak hesaplanmıştır. ET_{saatlik} değerlerinde ise 1.0'den büyük değerler bulunmaktadır. Bu durum bu değerlerin olduğu tarihlerde (9 Ekim 2014, 5 Şubat 2015, 28 Nisan 2015, 7, 12 Mayıs 2015, 1, 15 Temmuz 2015, 16, 18 Ağustos, 12 Eylül 2015) ET_{saatlik} veri setinin çarpık olduğunu göstermektedir. ET_{saatlik} ve $ET_{\text{aylık}}$ değerlerinde basıklık katsayısı en düşük sırasıyla 1.718 ve 2.242, en yüksek 18.699 ve 7.151 olarak hesaplanmıştır. Daha öncede belirtildiği gibi, basıklık katsayısı

3'den büyük olan $ETr_{aylık}$ değerlerinde değerlerin standart normal dağılım yüksekliğinden daha sivri bir dağılım gösterdiği söylenebilir. Basıklık katsayısı 3'den küçük olduğunda ise $ETr_{saatlik}$ ve $ETr_{aylık}$ değerlerinin standart normal dağılım yüksekliğinden daha basık olduğu söylenebilir. Çalışma kapsamında $ETr_{aylık}$ değerlerinden sadece Ocak ayı logaritmik dönüşüme tabi tutulmuştur. $ETr_{saatlik}$ verisetlerinin tamamı logaritmik dönüşüme tabi tutulmuştur.

Verilerin dağılımları hakkında bilgi sağlandıktan sonra $ETr_{aylık}$ değerleri için istatistiksel performans parametrelerine göre öne çıkan enterpolasyon yöntemi seçilmiştir. Kullanılan yöntemlerin R^2 , RMSE ve MAE değerleri Çizelge 4.6' de verilmiştir. Buna göre çalışma kapsamında 2015 su yılında $ETr_{aylık}$ değerlerinin alansal olarak haritalanmasında, istatistiksel performansa göre COK yöntemi seçilmiştir. $ETr_{aylık}$ için seçilen COK yönteminde kullanılan yarı varyogramların modellerinin Nugget, Sill, Range, Nugget/Sill ve R^2 değerleri Çizelge 4.7' de verilmiştir. $ETr_{aylık}$ değerlerinin yarı varyogram modelleri incelendiğinde, 2014 yılı Ekim, 2015 yılı Mart, Mayıs, Temmuz, Ağustos, Eylül aylarında üssel, 2014 yılı Kasım, Aralık, 2015 yılı Ocak Şubat, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında küresel modele sahip olduğu görülmüştür. $ETr_{aylık}$ değerlerinde Nugget etkisi en düşük yarı varyogram modeli 2015 yılı Nisan ayında tespit edilmesine rağmen, en yüksek yarı varyogram modeli ise 2015 yılı Temmuz ayında tespit edilmiştir. Ayrıca $ETr_{aylık}$ değerlerinde Sill değeri en düşük 2015 yılı Mart ayında, en yüksek Temmuz ayında tespit edilmiştir. Uzaysal bağımlılığın mesafesini gösteren range değerlerinde en yüksek değer 2015 yılı Eylül ayında iken en düşük değer 2015 yılı Mayıs ayındadır. $ETr_{aylık}$ değerlerinin 2015 yılı Haziran ayında en zayıf uzaysal bağımlı (% 75'den büyük), 2015 yılı Ocak ayında en kuvvetli uzaysal bağımlı (% 25'den küçük) olduğu belirlenmiştir. 2014 yılı Kasım, Aralık, 2015 yılı Ocak ve Şubat ve Eylül aylarında R^2 değerleri 0.90'nın üzerinde hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylık referans bitki su tüketimi ($ET_{aylık}$) değerlerinin alansal dağılımının hazırlanmasında alternatif enterpolasyon yöntemlerinin istatistiksel performans parametreleri

Aylar	İstatistiksel Parametreler	IDW	OK	COK
Ekim	R^2	0.71	0.70	0.71
	RMSE	20.82	20.97	20.67
	MAE	18.09	18.25	17.93
Kasım	R^2	0.91	0.93	0.94
	RMSE	11.53	12.33	11.37
	MAE	10.94	11.12	10.78
Aralık	R^2	0.97	0.94	0.98
	RMSE	8.35	9.30	8.17
	MAE	11.87	12.06	11.67
Ocak	R^2	0.95	0.96	9.59
	RMSE	7.06	7.96	6.87
	MAE	6.98	7.17	6.78
Şubat	R^2	0.87	0.87	0.90
	RMSE	7.89	8.68	7.70
	MAE	6.62	6.84	6.42
Mart	R^2	0.84	0.83	0.84
	RMSE	9.78	10.22	9.59
	MAE	10.24	10.93	10.09
Nisan	R^2	0.81	0.81	0.81
	RMSE	10.73	11.52	10.57
	MAE	11.23	11.97	10.44
Mayıs	R^2	0.81	0.80	0.80
	RMSE	19.03	19.88	18.07
	MAE	18.79	18.92	18.05
Haziran	R^2	0.72	0.70	0.71
	RMSE	14.33	14.96	13.59
	MAE	14.83	14.95	14.09
Temmuz	R^2	0.76	0.77	0.77
	RMSE	8.81	9.65	8.65
	MAE	7.34	7.48	7.02
Ağustos	R^2	0.83	0.82	0.83
	RMSE	18.16	19.13	17.64
	MAE	17.98	18.17	16.99
Eylül	R^2	0.92	0.93	0.94
	RMSE	14.26	15.22	13.29
	MAE	15.30	16.25	14.64

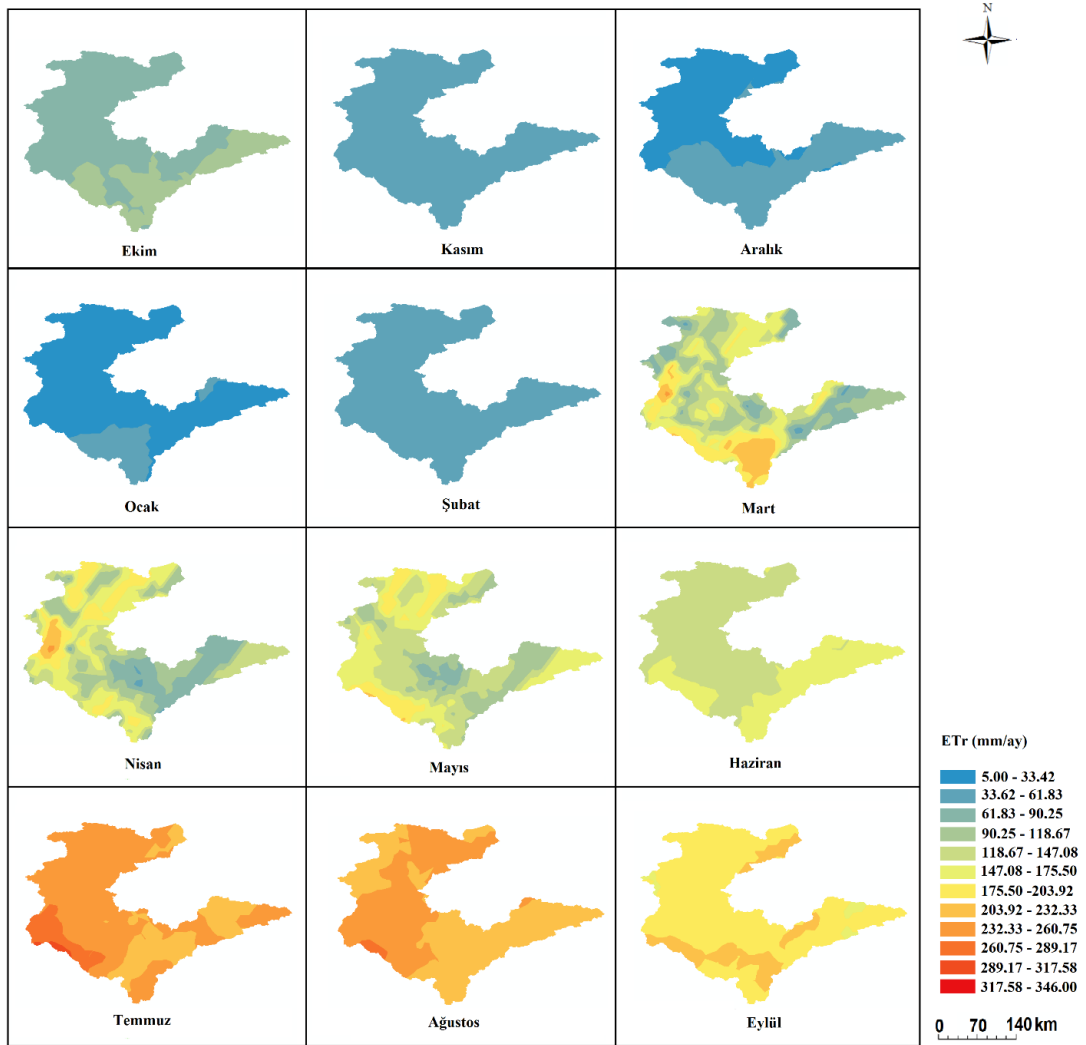
Çizelge 4.7. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için $ETr_{aylık}$ değerlerinin alansal dağılım haritalarının hazırlanmasında COK enterpolasyon yöntemi için seçilen yarı varyogram modellerinin Nugget, Sill, Range, Nugget/Sill ve R^2 değerleri

Aylar	Yarı varyogram Modeli	Nugget (Co)	Sill (Co+Cs)	Range (m)	Nugget/Sill (%)	R^2
Ekim	Üssel	189.000	688.000	136680.000	27.5	0.711
Kasım	Küresel	39.500	289.900	59090.000	13.6	0.938
Aralık	Küresel	4.600	210.100	45150.000	2.2	0.976
Ocak	Küresel	0.100	161.100	34530.000	0.0	0.968
Şubat	Küresel	16.000	127.300	35980.000	12.6	0.903
Mart	Üssel	0.012	0.042	208440.000	28.5	0.841
Nisan	Küresel	0.006	0.023	71100.000	24.8	0.808
Mayıs	Üssel	128.900	353.600	10050.000	36.5	0.800
Haziran	Doğrusal	240.102	240.102	26513.813	100.0	0.702
Temmuz	Üssel	1096.000	2251.000	90450.000	48.7	0.776
Ağustos	Üssel	771.000	2022.000	155280.000	38.1	0.827
Eylül	Üssel	574.000	1703.000	159270.000	33.7	0.941

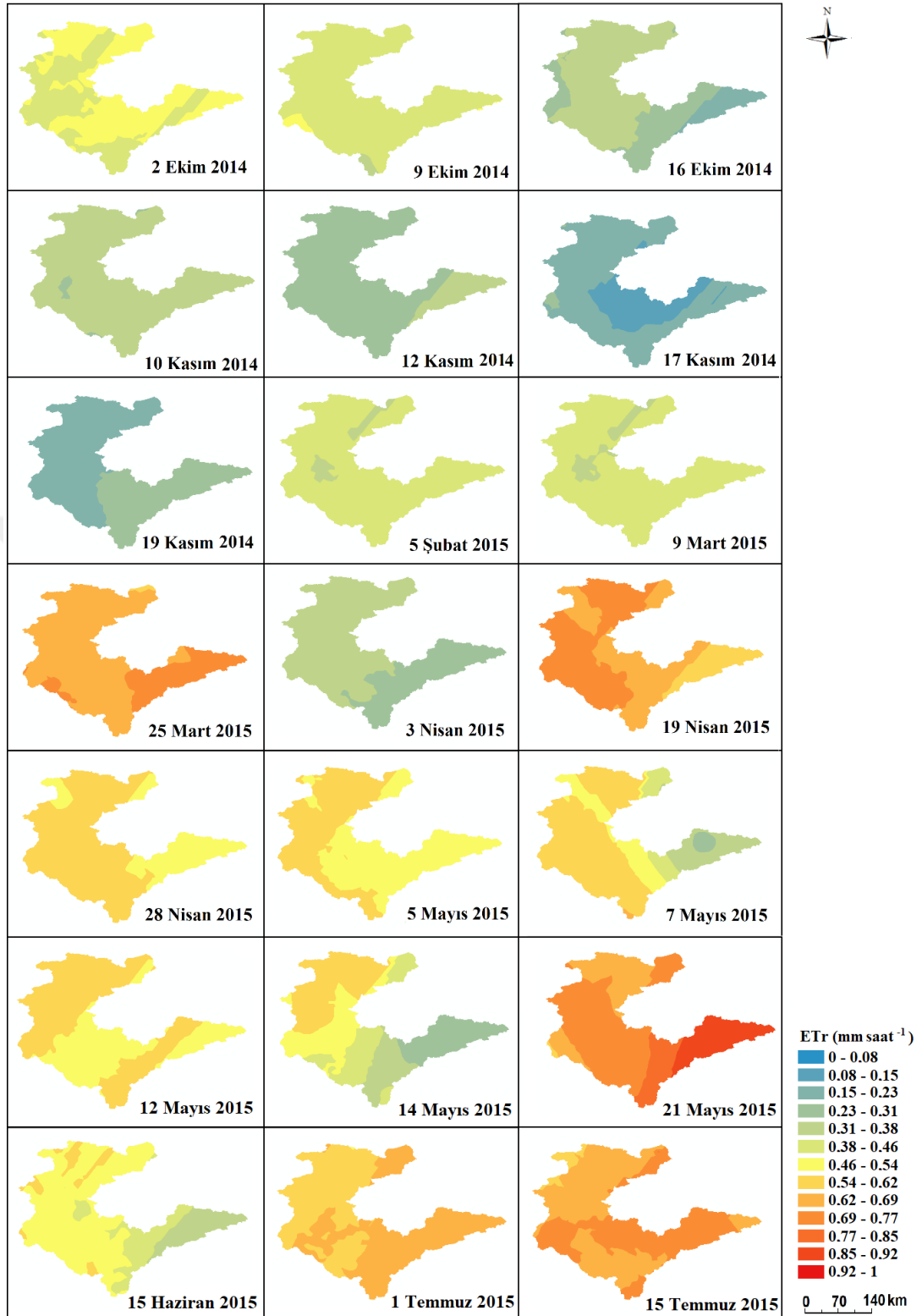
Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için COK enterpolasyon yöntemi kullanılarak oluşturulan $ETr_{aylık}$ haritaları Şekil 4.9' da, $ETr_{saatlik}$ haritaları ise Şekil 4.10' da verilmiştir. Havza genelinde $ETr_{aylık}$ değerleri 2014 yılı Ekim ayında 2014 yılı Kasım ve Aralık, 2015 yılı Ocak ve Şubat aylarına göre daha yüksektir. $ETr_{aylık}$ değerleri 2015 yılı Mart, Nisan ve Mayıs aylarında yaklaşık olarak benzer aralıkta değişim gösterirken, Haziran ayında daha dar bir aralıkta değişim göstermiştir. $ETr_{aylık}$ değerleri Temmuz ayında diğer aylara oranla daha yüksektir ve Temmuz ayından Eylül ayına doğru azalmıştır. Temmuz ayında havzada yer alan Ankara, Kırıkkale, Kırşehir ve Nevşehir illeri ve çevrelerinde $ETr_{aylık}$ değerlerinin havzanın diğer bölgelerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük $ETr_{aylık}$ değerleri ise Ocak ayında havzanın kıyı ve orta bölümlerinde yer alan Sinop, Samsun, Kastamonu, Çankırı, Çorum, Ankara, Kırıkkale ve Yozgat çevrelerinde hesaplanmıştır.

Çalışma alanı için 2015 su yılında oluşturulan $ETr_{saatlik}$ haritalarına göre, $ETr_{saatlik}$ değerlerinde en fazla değişkenlik (0.20 ile 0.90 arasında) 12 Eylül 2015 tarihinde iken, en az değişkenlik (0.25 ile 0.38 arasında) 10 Kasım 2014 tarihindedir. 12 Eylül tarihinde en düşük $ETr_{saatlik}$ değerleri havzanın kıyı bölümlerinde yer alan Samsun, Sinop ve Kastamonu illeri ve çevrelerinde iken, en yüksek $ETr_{saatlik}$ değerleri havzanın orta bölümlerinde yer alan Çorum, Yozgat ve Kırşehir illeri ve çevrelerinde

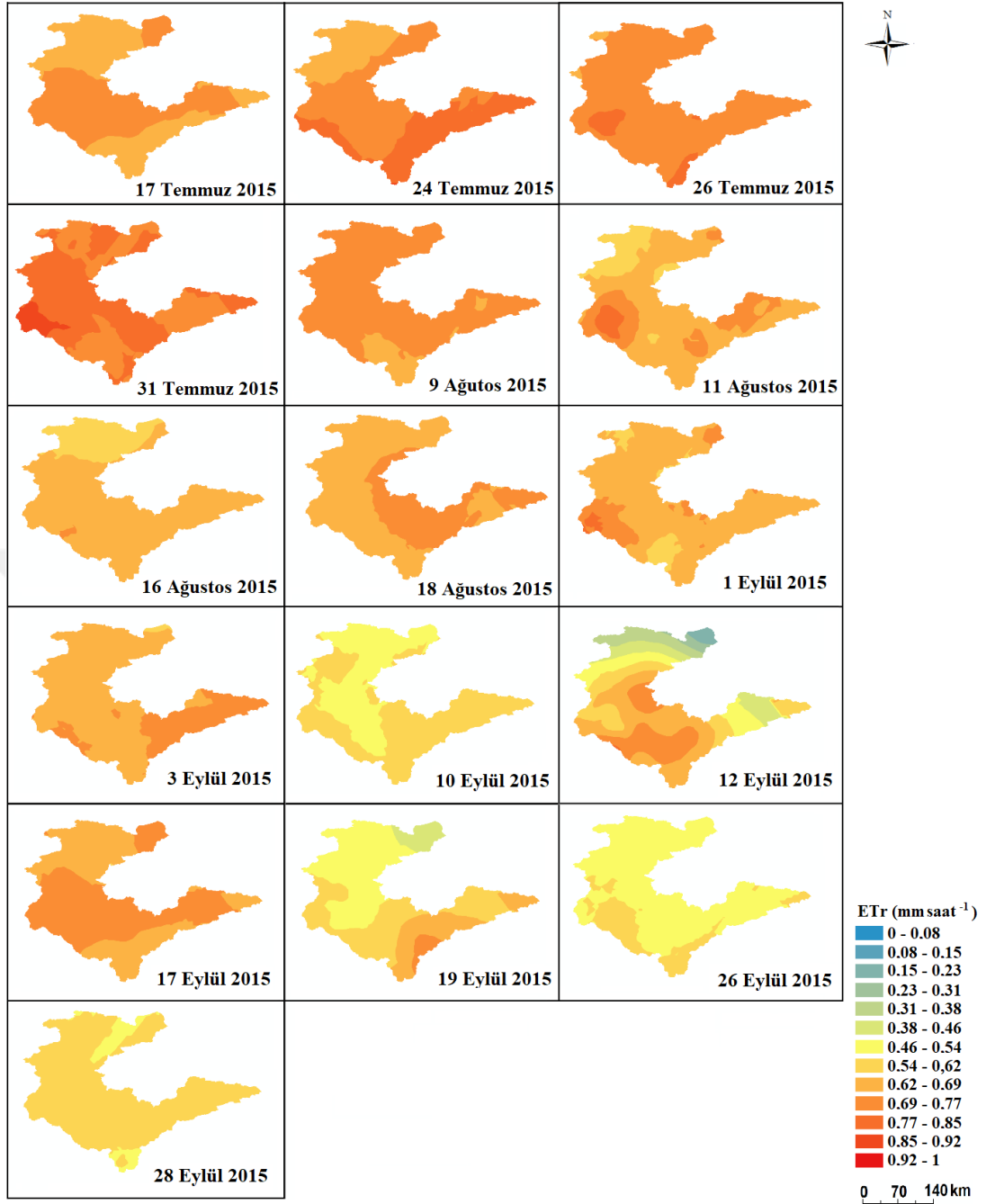
gözlemlenmiştir. $ETr_{saatlik}$ değerleri 10 Kasım 2014 tarihinde ise Kırıkkale ilinin küçük bir bölümünde havzanın diğer bölümlerine göre daha düşüktür. Aynı zamanda bu tarihte $ETr_{saatlik}$ değerleri diğer aylarda hesaplanmanın yapıldığı günlere göre en düşük seviyelerdedir. Ayrıca $ETr_{saatlik}$ değerleri, en yüksek seviyeye Temmuz ayındaki hesaplama günlerinde ulaşmıştır. 24 Temmuz 2015 tarihinde uydu görüntüsü çekim saatinde $ETr_{saatlik}$ değerleri en yüksek seviyedir. Ayrıca havza genelinde $ETr_{saatlik}$ değerlerinin 24 Temmuz tarihinde özellikle havzanın güney ve güney doğu bölümlerinde havzanın diğer bölümlerine oranla nispeten daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.9. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için COK enterpolasyon yöntemi ile elde edilen aylık referans bitki su tüketimi ($ETr_{aylık}$) haritaları



Şekil 4.10. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için kullanılan Landsat 8 uydu görüntülerinin çekildiği tarihlerde saat 11:00 – 12:00 arasındaki referans bitki su tüketimi ($ET_{r\text{saatlik}}$) haritaları



Şekil 4.10. (devam)

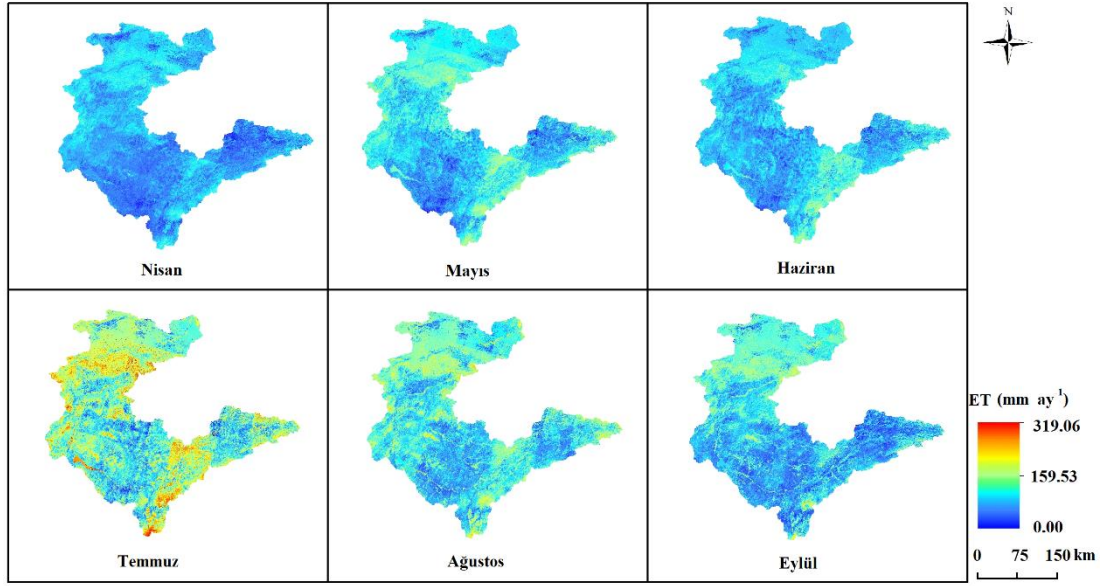
4.4. Kızılırmak Havzasının 1 Nisan-1 Ekim 2015 dönemi ET Haritaları

Çalışma kapsamında Kızılırmak havzasını kapsayan 11 farklı çerçevede toplam 74 uydu görüntüsü işlenmiş ve farklı çerçevelerde her ay için aylık ET haritaları oluşturulmuştur. Fakat çalışma alanında 2015 su yılındaki çekilen 74 adet Landsat 8 uydu görüntüleri bütün çerçevelerde tüm aylar için ET haritalamaya olanak sağlamamıştır (özellikle bulutluluk nedeniyle). Bu durum Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Mart ayları için elde edilen aylık ETrF görüntülerinin birleştirilmesinde 11

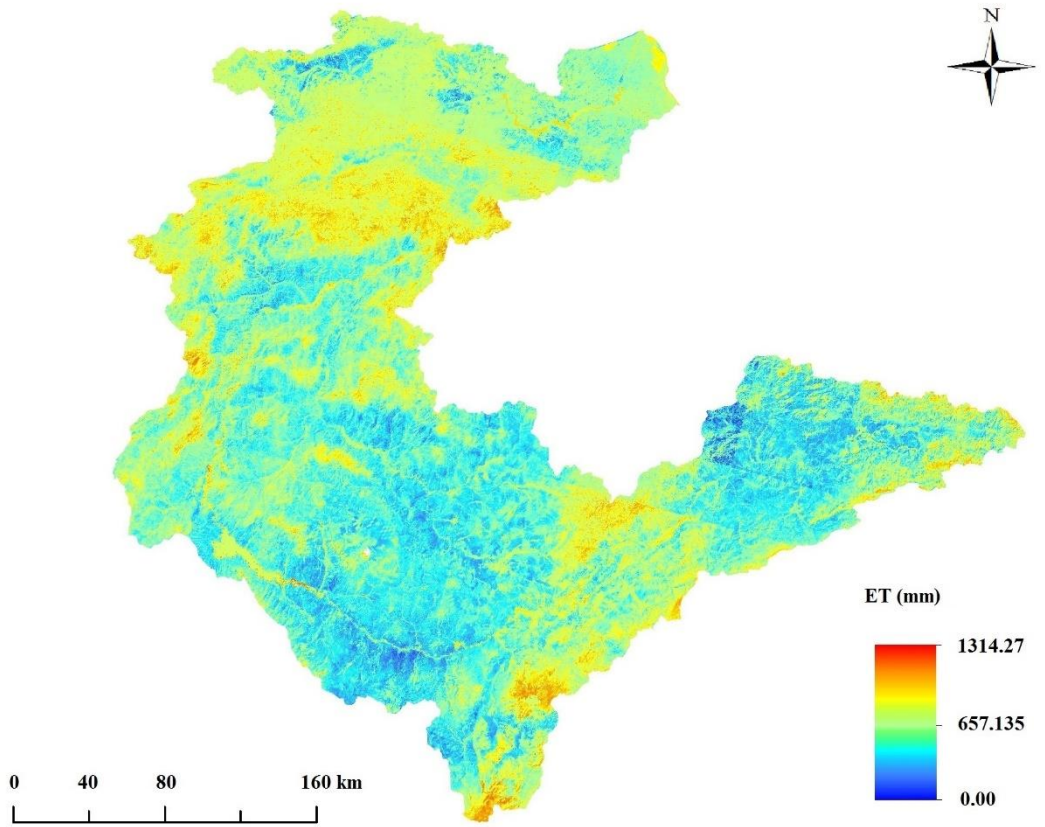
çerçeveden bazılarının boş kalmasına neden olmuştur. Bu nedenle işlenen 74 Landsat 8 uydu görüntüsünden 61 tanesi kullanılarak 1 Nisan – 1 Ekim dönemi için aylık ve dönemlik ET haritaları oluşturulmuştur. Kızılırmak Havzasında enerji dengesine dayalı olarak elde edilen aylık ET haritaları Şekil 4.11’ de verilmiştir.

Havza genelinde, Nisan, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında aylık ET değerleri en yüksek sırasıyla 153.02, 194.88, 189.426, 319.061, 316.945 ve 260.193 mm seviyesine ulaşmıştır. Aynı dönem için hesaplanan $ET_{aylık}$ değerleri ise 88.56 ile 332.077 mm arasında değişim göstermiştir (Şekil 4.9). METRIC modeline göre bitki katsayısını temsil eden ET_{RF} ’nin standart tam su koşulunda 1.05 olabileceği belirtilmektedir (Allen vd, 2007a; Allen vd, 2007b). Bu çalışmada uydu görüntülerinin işlenmesinde H’nin kalibrasyonu için soğuk hücre ET_{RF} değeri 1.05 olarak alınmıştır. Bu nedenle aylık en yüksek ET değeri çalışmada $ET_{aylık}$ değerinden bu oranda daha yüksektir. Çalışma alanı olan Kızılırmak havzasında ET’ nin en yüksek olduğu alanlar genellikle ormanlık alanları veya iyi sulanmış tarım alanları iken, nispeten düşük olduğu alanlar genellikle boş veya yağışa dayalı üretim yapılan tarım alanlarıdır. ET haritalamanın yapıldığı dönem aylara göre değerlendirildiğinde, en yüksek ET değerleri Temmuz ayında iken, en düşük ET değeri ise Nisan ayında gerçekleşmiştir. Ayrıca havza genelinde ET değerleri en fazla değişkenliği Temmuz ayında gösterirken, Nisan ayında en az değişkenlik göstermektedir. Temmuz ayında gerçekleşen en yüksek aylık ET değerleri genellikle havzanın güney kısımlarında yer alan Kayseri, Yozgat ve Sivas illeri ve havzanın orta kısımlarında bulunan Kastamonu, Çorum ve Çankırı illeri civarındadır.

Kızılırmak Havzasının 2015 su yılı 1 Nisan-1 Ekim dönemi toplam ET haritası Şekil 4.12’ de verilmiştir. 1 Nisan-1 Ekim dönemi en yüksek toplam ET değeri 1314.27 mm’ dir. Toplam ET değerlerinin genel olarak havzanın kıyı ve orta bölgelerinde yer alan Samsun, Kastamonu, Çorum, Çankırı illeri ve çevrelerinde ve havzanın güneyinde ve güney doğusunda yer alan Kayseri ve Yozgat illerinin bir bölümünde, havzanın diğer bölümlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Arazi kullanımına göre dönemlik toplam ET haritası değerlendirildiğinde, Kızılırmak havzasında ET değerlerinin genel olarak ormanlık alanlarda, tarım alanlarına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.11. Kızılırmak havzasının 2015 su yılında Nisan – Ekim dönemi aylık ET haritaları



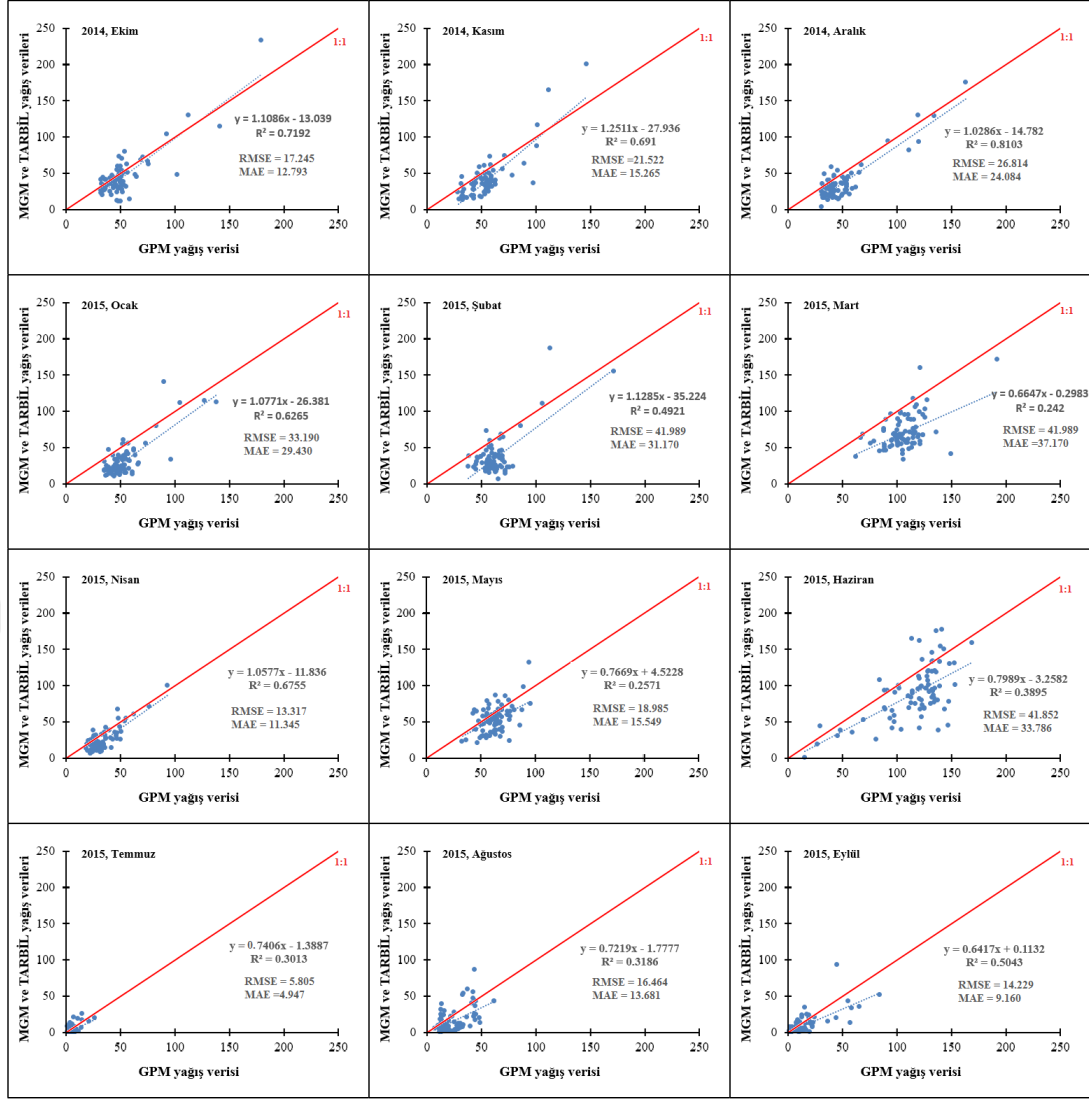
Şekil 4.12. Kızılırmak havzasının 2015 su yılında 1 Nisan – 1 Ekim dönemi toplam ET haritası

4.5. Analiz ve Değerlendirme

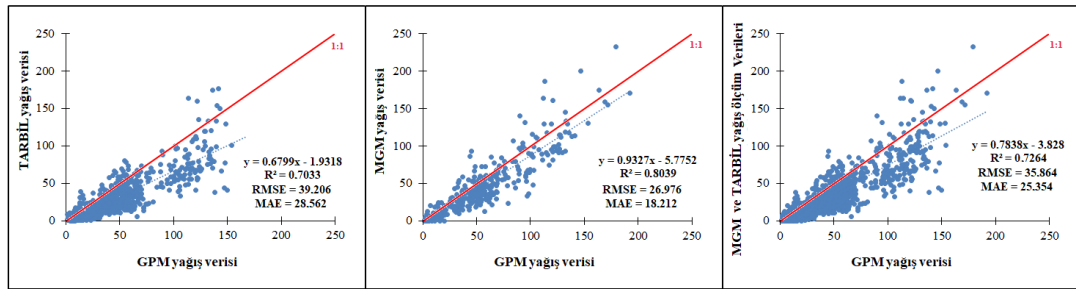
4.5.1. GPM uydusu yağış haritaları ile yağış ölçüm verilerinin karşılaştırılması

Çalışmada GPM uydusu aylık yağış verileri ile MGM ve TARBİL istasyonlarında ölçülen aylık yağış verileri, aylara göre ayrı ayrı (Şekil 4.13) ve tüm aylar bir arada (Şekil 4.14) olacak şekilde istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalarda meteoroloji istasyonlarında ölçülen yağış verilerine karşın, GPM uydu görüntülerinin istasyonların bulunduğu noktalara karşılık gelen hücrelerinin yağış değerleri kullanılmıştır. Şekil 4.14' te verilen karşılaştırma sonuçları, MGM ve TARBİL istasyonları için ayrı ve bir arada olacak biçimdedir. Bu çalışmada yağış verilerinin aylık olarak karşılaştırılmasında kullanılan veri sayısı (n) yaklaşık 96'dır. Yurtsever (1984)'e göre $n \geq 90$ için R değeri 0.267'den büyük ($R^2 > 0.071$) olduğunda $P < 0.01$ düzeyinde, R değeri 0.205'den büyük ($R^2 > 0.042$) olduğunda ise $P < 0.05$ düzeyinde değişkenler arasında önemli bir ilişki vardır. Buna göre genel olarak araştırmanın yürütüldüğü 2015 su yılında yer alan tüm aylar için GPM uydu verilerinden alınan yağış değerleri istasyonlarda ölçülen yağış değerleri ile istatistiksel olarak $P < 0.01$ düzeyinde önemli bir ilişkiye sahiptir. En yüksek R^2 değeri 2014 yılı Aralık ayı (0.810), en düşük R^2 değeri ise 2015 yılı Mart ayı (0.242) için hesaplanmıştır. Aylara göre karşılaştırmada R^2 değerlerinin yaz aylarında diğer aylara göre daha düşük bir eğilim izlediği değerlendirilebilir.

Kızılırmak havzasının genelinde 2015 su yılında yağışlar Mart ayında en yüksek ve Ağustos ayında en düşüktür. Çalışma alanı yukarıda belirtildiği gibi, Thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre üç farklı iklim bölgesine ayrılabilir (Anonim, 2018b). 2015 su yılında Eylül, Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat ve Nisan aylarında gerçekleşen yağışların farklı iklim sınıflarında farklı seviyelerde gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.4). Buna göre sözü edilen bu aylarda yağışın havza genelinde değişim aralığı, diğer aylara (Mart, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos) göre daha dardır. Şekil 4.13' de verilen karşılaştırmalarda havza genelinde yağışın dar bir aralıkta değiştiği aylarda GPM ile yer istasyonları arasındaki korelasyon düşük (R^2 değeri 0.24 ile 0.39 arasında) ve diğer aylarda bu korelasyon nispeten daha yüksektir (R^2 değeri 0.49 ile 0.81 arasında).



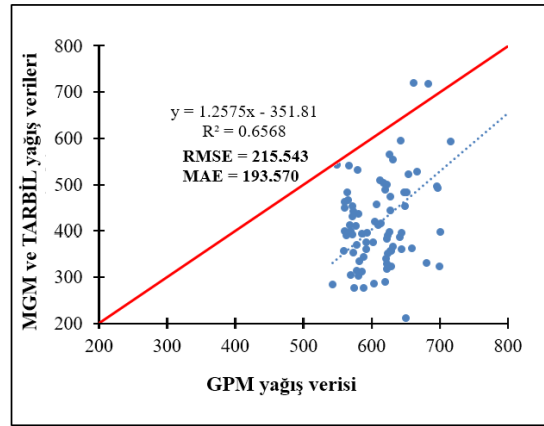
Şekil 4.13. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için aylara göre GPM uydu verilerinden elde edilen yağış değerleri ile yağış istasyonlarından temin edilen yağış verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.14. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden elde edilen aylık yağış verileri ile yağış istasyonlarından temin edilen aylık yağış verilerinin karşılaştırılması

Tüm aylık yağış verilerinin bir arada değerlendirildiği Şekil 4.14' de GPM uydusundan elde edilen yağış verileri ve TARBİL sisteminden elde edilen yağış verileri arasında R^2 0.7033, GPM uydusundan elde edilen yağış verileri ve MGM sisteminden elde edilen yağış değerleri arasında ise R^2 0.8039 seviyesinde bir uyum bulunmaktadır. GPM uydusu yağış verileri ile iki sistemden elde edilen aylık yağış verileri bir arada karşılaştırıldığında ise R^2 0.7264 olarak hesaplanmıştır. Bu karşılaştırmalarda toplam n değeri yaklaşık 1152'dir. Buna göre bu çalışmada GPM uydusu yağış verisi ile TARBİL, MGM ve TARBİL-MGM (bir arada) sistemleri aylık toplam yağış verileri arasında, $P < 0.01$ düzeyinde önemli bir ilişki vardır.

GPM uydu verilerinden elde edilen yıllık toplam yağış değerleri ile yağış istasyonlarından temin edilen yıllık toplam yağış verilerinin karşılaştırılması Şekil 4.15' de verilmiştir. Genel olarak GPM uydu verilerinden elde edilen yıllık toplam yağış değerleri yağış istasyonlarında ölçülen yıllık toplam yağış değerlerinden daha yüksektir. Bu iki veri setinin istatistiksel olarak karşılaştırması sonucunda yıllık toplam yağış değerleri istatistiksel olarak $R^2=0.6568$ seviyesinde uyuma sahiptir.



Şekil 4.15. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden elde edilen yıllık yağış değerleri ile yağış istasyonlarından temin edilen yıllık yağış verilerinin karşılaştırılması

Söz konusu bulgular daha önce yapılan araştırmalarla uyum içerisindedir. Çin'de Xinjiang havzasında, aylık zaman ölçeğinde TRMM yağış verileri ve istasyonlardaki yağışölçerlerden alınan yağış verileri arasında R^2 seviyesi 0.81 ile 0.89 arasında olan önemli doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Li vd, 2012). Sözü edilen çalışmada 1998-2003 yılları için 5 farklı yağış istasyonu kullanılmış aylık olarak yağış verileri karşılaştırılmıştır. Bilindiği gibi bir yağışölçer verisi sadece meteoroloji istasyonunun

bulunduğu alanı temsil edebilmektedir ve GPM uydusundan bir istasyon için alınan yağış verisi istasyonun da içerisinde bulunduğu yaklaşık 11.1 km X 11.1 km' lik bir alanı temsil etmektedir. Meteoroloji istasyonları ile yağış uydularının arasındaki bu alansal temsil farklılığı, hem bu çalışmada hem de önceki çalışmalarda uydu verilerinden elde edilen yağış verilerinin istasyon yağış verileri ile uyumu azalttığı değerlendirilebilir.

4.5.2. GPM sisteminden alınan ve enterpolasyon tekniği ile alana dağıtılan yağış haritalarının karşılaştırılması

GPM yağış haritaları (Şekil 4.2) ve COK yöntemi ile oluşturulan yağış haritaları (Şekil 4.4) aylık tabanlı olarak karşılaştırıldığında, GPM uydu verilerinden elde edilen haritaların en yüksek yağış değerinin, COK yönteminden elde edilen haritalara göre genel olarak daha yüksek olduğu saptanmıştır (GPM-274.4 mm, COK-189.6 mm). Ayrıca havza genelinde GPM uydu ürünlerinden 2014 yılı Ekim ve Aralık, 2015 yılı Ocak, Şubat ve Nisan aylarında elde edilen yağış değerlerinin COK enterpolasyon yöntemi ile hazırlanan yağış haritalarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında yağış değerleri 2014 yılı Kasım ve 2015 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ise benzer bir aralıkta değişim göstermektedir. Çalışma alanında 2015 yılı Mart ve Mayıs aylarında GPM uydusu yağış verileri ise COK yağış haritalarından elde edilen yağış verilerine göre daha yüksektir. GPM uydu verilerinden elde edilen (Şekil 4.3) ve yağış istasyonu verilerinin kullanıldığı COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yıllık toplam yağış haritaları (Şekil 4.5) karşılaştırıldığında, haritaların genel olarak uyumlu olduğu değerlendirilebilir. Ancak Kızılırmak havzasının güney doğu bölümünde olan Sivas ili ve çevresinde ve kıyı bölümlerinde bulunan Samsun, Sinop ve Kastamonu illeri ve çevrelerinde GPM uydu verisinden elde edilen yıllık toplam yağış değerlerinin COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yıllık toplam yağış değerlerinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmanın bu aşamasında Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için temin edilen GPM uydusu yağış haritaları ile COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yağış haritaları aylık bazda istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi öncesinde konumsal dağılım haritaları ile uydu verilerinin hücre çözünürlükleri eşitlenmiştir. Böylece karşılaştırmada kullanılan her bir verinin (hem GPM yağış verileri hem de enterpolasyon tekniği ile oluşturulan yağış haritalarından alınan yağış

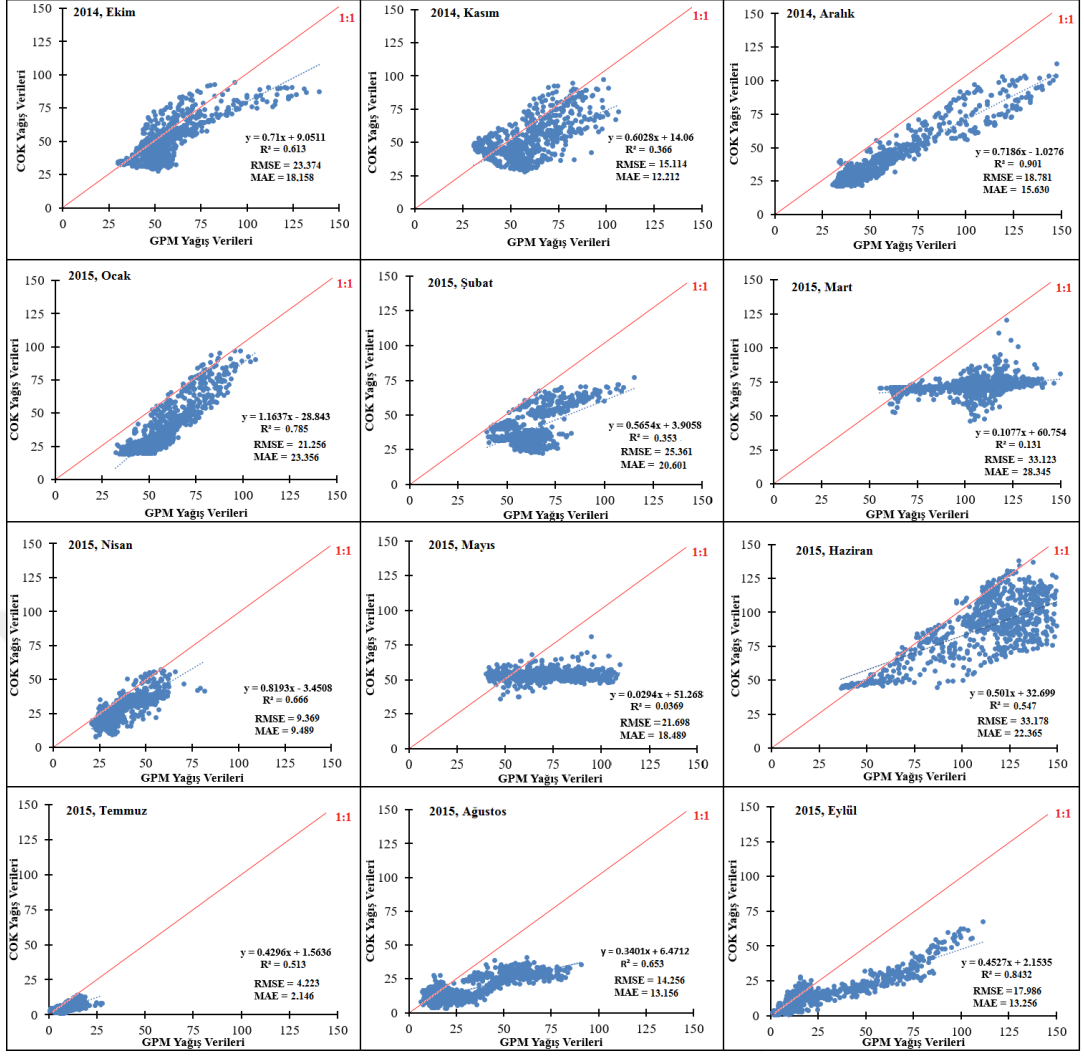
verileri) temsil ettikleri alan yaklaşık 11.1 km x 11.1 km olmuştur. Aylara göre GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yağış değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.16' da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, noktasal yağışölçer verilerinin karşılaştırma sonuçları ile benzer biçimde, en yüksek R^2 değeri (0.901) Aralık ayı, en düşük R^2 değeri (0.037) Mayıs ayı için hesaplanmıştır. Çin'de Ganjiang nehir havzasında yapılan bir çalışmada, 2003-2009 yılları için aylık olarak temin edilen 325 istasyondan IDW yöntemine göre elde edilen yağış verileri ile TRMM 3B43 uydu verileri karşılaştırıldığında, R^2 değerleri sırasıyla 0.77 ile 0.96 arasında, TRMM 3B42RT uydu verileri karşılaştırıldığında ise R^2 değerleri 0.46 ile 0.81 arasında değişim göstermiştir (Hu vd, 2014). Yapılan bu çalışmada, çalışma bölgesinin iklimsel koşulları, kullanılan uydu verisi (GPM) ve meteoroloji istasyonu sayısı farklıdır. Buna ek olarak yağışın alansal dağılımında COK yöntemi kullanılmıştır. Hu vd, (2014) tarafından yapılan araştırma ile karşılaştırıldığında bu çalışmada R^2 değerleri bazı aylarda düşük ve bazı aylarda daha yüksektir. Buna göre çalışmalar arasında kabul edilebilir seviyede bir uyum vardır.

Çalışma kapsamında aylara göre GPM ve COK yönteminden elde edilen yağış değerleri karşılaştırıldığında RMSE değerleri 4.223 ile 33.178 arasında, MAE değerleri 2.146 ile 28.345 arasında değişim göstermiştir. Çin'de Laohahe havzasında yapılan bir çalışmada ise RT 3B42 uydu ürününden seçilen 16 piksel değeri ile 10 farklı meteoroloji istasyonundan IDW yöntemine göre elde edilen aylık yağış değerleri karşılaştırılmış ve RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 57.52 ve 40.18 olarak hesaplanmıştır. Aynı çalışmada V6 3B42 uydu ürününden seçilen 16 piksel değeri ile IDW yönteminden elde edilen veriler karşılaştırılmış ve RMSE ve MAE değerleri sırasıyla 18.72 ve 11.63 olarak hesaplanmıştır (Yong vd, 2010). Çin'de Ganjiang nehir havzasında yapılan bir çalışmada ise, 2003-2009 yılları için aylık olarak temin edilen 325 istasyondan IDW yöntemine göre elde edilen yağışölçer verileri ile TRMM 3B43 uydu verileri karşılaştırıldığında, MAE değerleri 18.1 ile 25.4 arasında, TRMM 3B42RT uydu verileri karşılaştırıldığında ise MAE değerleri 36.8 ile 64.8 arasında değişim göstermiştir (Hu vd, 2014). Bu çalışmada bulunan RMSE ve MAE değerlerinin literatürle uyumlu olduğu görülmektedir. Fakat çalışmada kullanılan yağış verilerinin aralığı, sayısı ve cinsi (TRMM, GPM vb), çalışmada kullanılan yöntemler (IDW, COK vb), çalışmanın yürütüldüğü bölgenin iklim yapısı gibi koşullar RMSE ve MAE değerlerini etkilemektedir.

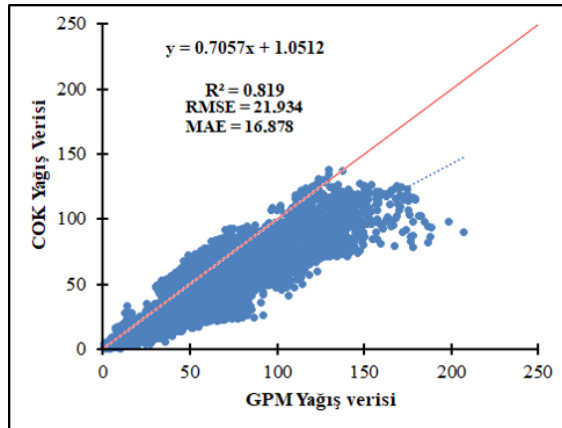
Kızılırmak havzası 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen aylık yağış verilerinin birarada karşılaştırılması Şekil 4.17'de verilmiştir. Buna göre GPM uydu verileri ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen aylık yağış verileri arasında R2 değeri 0.819 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar mevcut literatürlerle birlikte değerlendirildiğinde, veri setleri arasında istatistiksel olarak önemli bir uyum olduğu tespit edilmiştir. Örneğin Çin'de Laohahe havzasında yapılan bir çalışmada 2002 ve 2005 yılları için RT 3B42 uydu verisinden seçilen 16 piksel değeri ile 10 farklı meteoroloji istasyonundan IDW yöntemine göre oluşturulan aylık yağış verileri karşılaştırılmış ve R2 0.42 olarak hesaplanmıştır. Aynı çalışmada 2000 ve 2005 yılları için V6 3B42 uydu verisinden seçilen 16 piksel değeri ile 10 farklı meteoroloji istasyonundan IDW yöntemine göre oluşturulan haritalardan alınan aylık yağış verileri karşılaştırılmış ve R2 0.86 olarak hesaplanmıştır (Yong vd, 2010).

Kızılırmak havzası için GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yıllık yağış değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.18'de verilmiştir. Yıllık yağış değerleri arasındaki istatistiksel ilişkinin R² değerinin 0.7102 olduğu görülmektedir. Buna göre, GPM uydu verilerinden ve COK yönteminden elde edilen yıllık yağış değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir uyum tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada RMSE ve MAE değerlerinin yüksek olması, grafikteki eğilim çizgisinin 1-1 doğrusundan uzakta olduğunun bir göstergesidir.

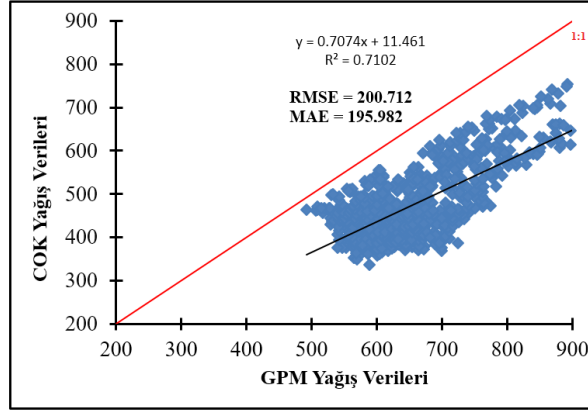
Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, yağış ölçüm istasyonlarının bulunduğu noktalar için GPM uydusu kullanılarak belirlenen yağış değerleri ile yerde meteoroloji istasyonlarında ölçülen yıllık yağış değerleri R²=0.66 düzeyinde uyuma sahiptir (Şekil 4.15). Bu karşılaştırmada kullanılan n değeri yaklaşık 96'dır. Diğer yandan COK enterpolasyon yöntemi ile alansal dağılımı gerçekleştirilen yağış istasyonu verileri ile GPM uydu verilerinin uyumu R²=0.7102 (Şekil 4.18) düzeyindedir ve bu karşılaştırmada uydu görüntüsünün havza içerisinde kalan her bir piksel verisi ve buna karşılık gelen enterpole edilmiş yağış dağılım harita verisi kullanıldığı için n değeri 860'dır. Bu çalışmada Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için GPM uydusu yağış verileri ile noktasal yağış verilerinin ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yağış verilerinin karşılaştırılmasında P<0.01 düzeyinde önemli bir ilişki tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için aylara göre GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yağış değerlerinin karşılaştırılması



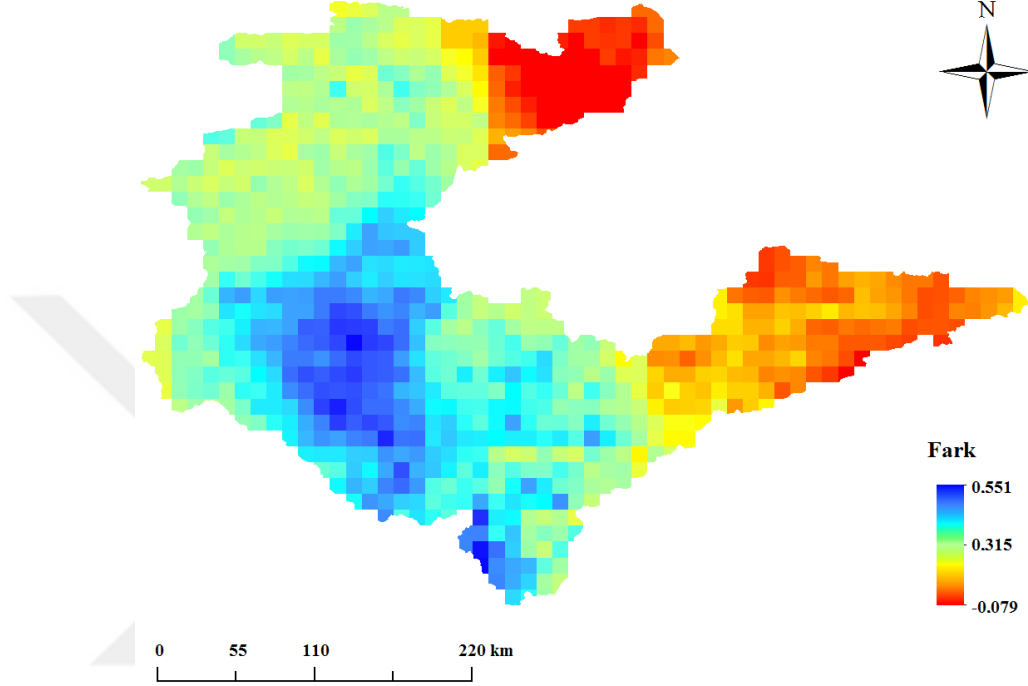
Şekil 4.17. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen aylık yağış verilerinin karşılaştırılması



Şekil 4.18. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için GPM uydu verilerinden ve COK enterpolasyon yönteminden elde edilen yıllık yağış değerlerinin karşılaştırılması

GPM uydusundan temin edilen yağış haritalarının, ölçülen yağış verilerine dayanan alansal yağış haritasına göre oransal hata değerlerinin Kızılırmak havzasında bölgesel olarak nasıl bir değişim gösterdiği Şekil 4.19' de harita olarak verilmiştir. Buna göre çalışma alanında hata değerlerinin havzanın kıyı bölgelerinde yer alan Samsun, Sinop ve Kastamonu illeri civarında ve havzanın güney doğu bölümünde yer alan Sivas ili ve civarında daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi Kızılırmak havzası yarı kurak, yarı kurak-az nemli ve yarı nemli iklimsel özellikler gösteren bölgelere sahiptir (Anonim, 2018b). Buna göre Kızılırmak havzasında genel olarak yarı nemli (-0.079 – 0.200 arasında) ve yarı kurak- az nemli (0.079 – 0.250 arasında) bölgelerde hata değerleri daha düşük, yarı kurak bölgelerde (0.400 – 0.551 arasında) ise hata oranı daha yüksektir. Güney Batı Afrika'da Okavango Havzası'nda yapılan bir çalışmada yağış uydu verileri havzada ve çevresinde bulunan yağışölçer verileriyle karşılaştırılmış ve çalışma sonucunda, uydu verilerinin yağışı yaklaşık % 20 yüksek tahmin ettiği vurgulanmıştır (Wilk vd, 2006). GPM uydu verilerinin yağışölçer verileriyle karşılaştırıldığı bir çalışmada GPM ve yağışölçer verileri arasında % 12.67 fark olduğu tespit edilmiştir (Tang vd, 2018). Yapılan bir çalışmada TRMM uydu verilerinde yıllık yağış miktarlarının 1998-2000 yıllarında yağışölçer verilerine göre daha düşük, 2001-2003 yılları arasında ise daha yüksek olduğu saptanmıştır (Li vd, 2012). Tibet platosunda aylık GPM uydu verilerinin aylık yağışölçer verilerinden daha yüksek olduğu vurgulanmıştır (Xu vd, 2017). Bu çalışmada COK yönteminden elde edilen yıllık toplam yağış değerine göre GPM uydusundan elde edilen yıllık toplam yağış değerlerinde tespit edilen hata değerleri, havzanın bazı bölgelerinde (havzanın özellikle kıyı ve güney doğu

bölümleri) genel olarak yapılan çalışmalarla uyumlu iken, bazı bölgelerinde de uyumlu olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda kullanılan uydu verileri ve yöntem, çalışma alanlarının genel iklimsel özellikleri, bölgesel farklılıkları ve çalışmaların yürütüldüğü zaman dilimleri gibi birçok neden hatanın daha düşük veya daha yüksek olmasının kaynağı olarak değerlendirilebilir.

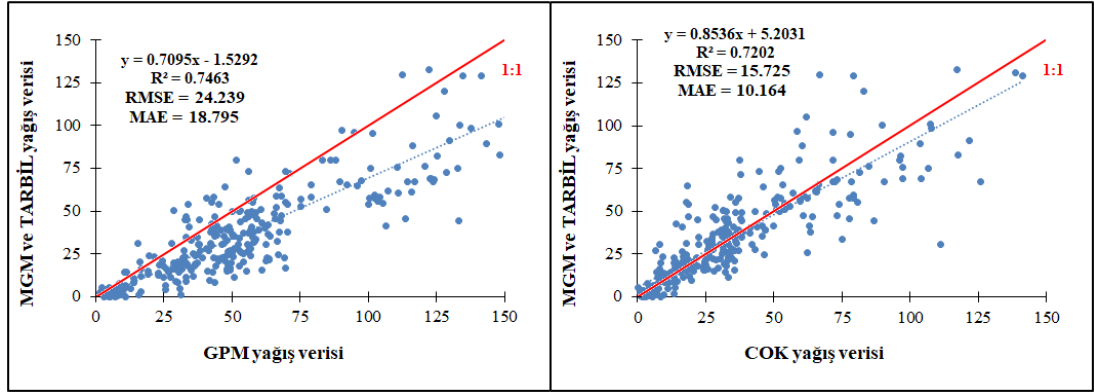


Şekil 4.19. Kızılırmak havzası 2015 su yılı için yıllık toplam yağış miktarlarında GPM uydu verilerinin enterpole edilen yağış verilerine göre hata oranı haritası

4.5.3. Yağış verisi olmayan alanlar için enterpolasyon ve GPM yağış değerlerinin performansının karşılaştırılması

Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için MGM ve TARBİL istasyonlarından temin edilen yağış verilerinin enterpolasyon yöntemleri kullanılarak hazırlanan aylık alansal dağılım haritaları Şekil 4.4' de verilmiştir. Bu amaçla MGM ve TARBİL istasyonu yağış veri seti % 70 eğitim, %30 test olarak bölünmüştür. Kullanılan enterpolasyon yönteminin seçiminde test verilerinin istatistiksel performans parametre değerlerinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak enterpolasyon yöntemi olarak COK seçilmiştir. Çalışmanın bu aşamasında daha önceden aylara göre COK yönteminin değerlendirildiği test veri setinde (tüm verinin % 30'u) , COK ve GPM uydusu yağış verileri ile yağış istasyonlarından temin edilen yağış verileri karşılaştırılmıştır (Şekil

4.20). Çizelge 4.3' de aylık olarak hesaplanan R^2 , RMSE ve MAE değerleri ayrı ayrı verilmiştir ve Şekil 4.20'de tüm aylar bir arada değerlendirilmiştir.



Şekil 4.20. Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için Co-Kriging enterpolasyon yönteminde kullanılan test yağış verisi setinde, COK ve GPM uydusu yağış verileri ile MGM ve TARBİL istasyonu aylık toplam yağış verilerinin karşılaştırılması

Çalışma alanında 2015 su yılı için MGM ve TARBİL istasyonlarından elde edilen yağışölçer verileri ile GPM uydusu yağış verileri arasında $R^2=0.7463$ seviyesinde bir uyum belirlenmiştir. Serinin eğilim çizgisinin 1-1 çizgisinden aşağıda olması GPM uydusu yağış verilerinin yağışölçer verilerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Havzada 2015 su yılı için MGM ve TARBİL istasyonlarından elde edilen yağışölçer verileri ile COK yönteminden elde edilen yağış verileri karşılaştırıldığında R^2 değeri 0.7202 olarak hesaplanmıştır. Yağışölçer verileri ile GPM uydusundan elde edilen yağış verileri arasındaki R^2 değeri yağışölçer verileri ile COK yönteminden elde edilen yağış verileri arasındaki R^2 değerinden daha yüksek bulunmasına rağmen, RMSE ve MAE değerleri daha yüksektir. Elde edilen bu sonuç, meteoroloji istasyonu olmayan bir alan için her iki yöntemde benzer hata oranı ile kullanılabileceğini göstermektedir. Çin'de Laohahe havzasında yapılan bir çalışmada yağış uydu verisinden seçilen 16 piksel değeri ile IDW yöntemine göre oluşturulan aylık yağış verileri karşılaştırılmış ve R^2 0.42 olarak bulunmuştur. Aynı çalışmada başka bir uydu verisinden seçilen 16 piksel değeri ile IDW yöntemine göre oluşturulan aylık yağış verileri karşılaştırılmış ve R^2 0.86 olarak hesaplanmıştır (Yong vd, 2010). Çin'de Ganjiang nehir havzasında yapılan bir çalışmada, IDW yöntemine göre elde edilen aylık yağış değerleri ile yağış uydu verileri karşılaştırıldığında, R^2 değerleri 0.46 ile 0.96 arasında değişim göstermiştir (Hu vd, 2014). Buna göre çalışmanın bu aşamasında elde edilen bulgunun literatürle uyumlu olduğu söylenebilir. Fakat mevcut

çalışmanın daha önce yapılan çalışmalardan en önemli farkı çalışmada kullanılan yağışölçer veri setinin yağışın alansal dağılımında kullanılan COK yöntemine dahil edilmemesidir.

4.5.4. Yağış ve ET haritalarının değerlendirilmesi

Çalışmanın bu aşamasında Kızılırmak havzası arazi kullanım durumu (Şekil 3.3), yağış dağılım durumu (Şekil 4.3) ve 01 Nisan – 01 Ekim 2015 dönemi toplam ET haritası bir arada değerlendirilmiştir. Kızılırmak havzası genel olarak tarım ve orman alanlarından oluşmaktadır. Tarım alanları havzanın orta bölümlerinde daha fazla iken ormanlık alanlar ise havzanın doğu ve kuzey bölgelerinde daha fazladır. Havza genelinde yağışın dağılımı değerlendirildiğinde, havzanın kuzey bölgesinde bulunan yarı nemli alanlarda diğer bölgelerine göre daha yüksek (en yüksek yıllık toplam yaklaşık 1000 mm) olduğu tespit edilmiştir. Yıllık toplam yağış havzanın yarı kurak-az nemli bölgesinde 550 mm ile 650 mm arasında iken yarı kurak alanlarda ise yaklaşık 480 mm civarındadır. Buna göre havzada ormanlık alanlar en çok yağışın yüksek olduğu bölgelerde yoğunlaşmakta ve yağışın düşük olduğu bölgelerde de ormanlık alanlar belirli seviyede dağılım göstermektedir. Tarım alanları havza genelinde var olmasına karşın ortalama yıllık toplam 550-750 mm yağışın gerçekleştiği bölgelerde yoğunlaşmaktadır. En büyük tarım alanları Kayseri ile Çankırı illeri arasında bulunan koridorda olmasına karşın özellikle Samsun, Kastamonu ve Sivas il sınırlarının havza içerisinde kalan bölgelerinde de önemli tarım alanları bulunmaktadır.

Kızılırmak havzasında yer alan tarım alanlarında 1 Nisan 2015-1 Ekim 2015 döneminde gerçekleşen toplam ET değerlerinin genel olarak 125.0 ile 450.0 mm arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. ET' nin düşük olduğu tarım alanlarında daha çok yağışa dayalı tarım yapıldığı, ET'nin yüksek olduğu tarım alanlarında ise daha çok sulu tarım yapıldığı söylenebilir.

Yağış ile ET'nin değerlendirilmesinde yağışın yıl içerisindeki dağılımı da önemlidir. Örneğin Samsun ili Bafra ilçesinde Temmuz ayında en yüksek yaklaşık 18.30 mm yağış gerçekleşmesine karşın, ET değeri yaklaşık 130.0 ile 200.0 mm arasında değişim göstermektedir. ET değerlerinin yağış değerlerinden yüksek olması Bafra ilçesinde bu alanlarda yoğun olarak sulama yapıldığını göstermektedir. Benzer şekilde, Kayseri ili ve çevresinde bulunan tarım arazileri göz önünde tutulduğunda, Temmuz ayında gerçekleşen ET miktarı yaklaşık 140-200 mm arasında iken, aynı

bölgelerde yağış miktarı yaklaşık ortalama 10-15 mm arasında değişim göstermektedir. Daha önceki yağış miktarları da göz önünde tutulduğunda söz konusu bölgede ET değeri yüksek olan tarım arazilerinde sulu tarım yapıldığı değerlendirilebilir. Sivas ili çevresinde bulunan tarım arazilerinde ise Temmuz ayında gerçekleşen yağış miktarı yaklaşık 10-16 mm arasında iken, en yüksek ET miktarı yaklaşık 150 mm civarındadır. Daha önceki dönemlerde gerçekleşen yağışların toprakta depolanma durumu göz önünde tutulduğunda, bu durum Sivas ili ve çevresinde bulunan tarım arazilerinde çoğunlukla yağışa dayalı tarımın yapıldığını göstermektedir.

Havza genelinde ormanlık alanlarda genel olarak ET değerleri tarım alanlarına göre daha yüksektir. Çalışma alanında havzanın kuzey bölümünde bulunan ormanlık alanlarda 1 Nisan 2015-1 Ekim 2015 dönemi toplam ET değerleri yaklaşık 400 ile 1300 mm arasında değişim göstermektedir. Havzanın güney doğu bölümünde bulunan ormanlık alanlarda ise dönemlik ET değerlerinin havzanın diğer bölümlerindeki ormanlık alanlara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum yıllık toplam yağış koşullarına bağlı olarak ormanları oluşturan ağaç türlerindeki ve aynı türlerde vejetasyon miktarındaki farklılıklara dayanmaktadır. Havzada yüksek yağış alan ormanlık bölgelerde, genel olarak yüksek ET gerçekleşmiştir. Ormanlık alanlarda bulunan ağaçların kök derinliklerinin fazla olması ve derin toprak profilinde depolanan yağış sularını kullanması yüksek ET' nin kaynağı olarak görülebilir.

Bu verilere göre, büyük ölçekli havzalarda uzaktan algılama teknikleri kullanılarak yağış ve ET' nin haritalanması, havza su yönetimi çalışmalarında, özellikle su bütçesi, sulama suyu yönetimi, kuraklığın izlenmesi gibi birçok alanda kullanım potansiyeline sahiptir. Fakat bu verilerin güvenle kullanılabilmesi için daha fazla araştırma, kalibrasyon ve doğrulama çalışmalarına ihtiyaç bulunmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm dünyada mevcut su kaynakları, nüfus artışı, iklim değişikliği ve tarımda bilinçsiz su kullanımı gibi nedenlerden dolayı su kaynakları yönetimi giderek önem kazanmaktadır. Su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesinde hidrolojik su bütçesi bileşenleri olan yağış, buharlaşma-terleme (ET), yüzey akış ve infiltrasyonun konumsal ve zamansal boyutta nasıl değiştiğinin izlenmesi büyük öneme sahiptir. Birçok araştırma ve uygulama çalışmasında yağışın değişimi yağışölçer verileri kullanılarak ve ET değişimi meteorolojik verilere dayalı olarak tahmin edilerek kullanılmaktadır. Yağışın haritalanmasında çoğunlukla enterpolasyon yöntemleri kullanılmakta ve günümüzde buna alternatif olarak uzaktan algılama teknikleri de literatürde yer almaktadır. Ancak uydu sistemleri ile yağışın izlenmesi henüz uygulamada yaygın olarak kullanılmamaktadır. Hidrolojik çalışmalarda uzaktan algılama tekniklerine dayanan yağış verileri daha çok yağış verilerinin doğruluğunun değerlendirilmesi ve kalibrasyonu ile ilgili konularda kullanılmaktadır. Türkiye’de bu konuda yapılan araştırmalar henüz yeterli sayıda değildir. Diğer yandan noktasal meteorolojik veriler kullanılarak tahmin edilen ET değerleri büyük havzalarda tüm arazi kullanım durumlarını temsil etmemektedir. Bu nedenle uydu görüntüleri ve meteorolojik verilerin bir arada kullanıldığı enerji dengesi tabanlı ET haritalama yöntemleri büyük havzalarda hidrolojik su bütçesi çalışmaları için önemli bir potansiyele sahiptir. Fakat noktasal iklim verileri kullanılarak bölgesel ET haritalarının üretilmesi de çeşitli kısıtlara sahiptir. Buna göre çeşitli enterpolasyon teknikleri ile oluşturulan harita formatındaki ET verilerine göre, uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen ET haritaları hidrolojik su bütçesinin değerlendirilmesinde daha kıymetli olabilir. Çünkü uzaktan algılama ile oluşturulan ET haritaları uydu görüntüsünün çözünürlüğü ölçüsünde gerçekleşen koşulları temsil etmektedir. Noktasal nitelikteki meteoroloji istasyon verileri ile tahmin edilen ET değerleri ile oluşturulan ET haritaları standart genel koşulları dikkate almaktadır. Henüz dünyada ve Türkiye’de bu tür çalışmalar yeterli seviyede (yaygınlık ve derinlik bakımından) değildir. Ulusal ve uluslararası literatürdeki bu durum değerlendirilerek yağış ve ET’

nin büyük havzalarda haritalanarak su bütçesi çalışmalarında kullanılma potansiyelinin belirlenmesi bu çalışmanın en önemli dayanağını oluşturmuştur.

Bu çalışma Kızılırmak havzasında yürütülmüştür. Çalışmada yağış ve ET haritalamada gerekli meteorolojik parametreler olan T_a , RH, u_2 ve ET_r ' nin alana dağıtılmasında enterpolasyon yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca yağışın alansal ve zamansal boyutta 2015 su yılında nasıl dağıldığının belirlenmesinde bir uzaktan algılama sistemi olan GPM-IMERG' in kullanım potansiyeli değerlendirilmiştir. GPM sisteminden elde edilen yağış haritaları doğrudan yer ölçümleriyle ve enterpolasyon yöntemleriyle alana dağıtılan yağış haritalarıyla karşılaştırılmıştır. ET' nin alansal ve zamansal dağılımının belirlenmesinde enerji dengesi tabanlı METRIC modelinden yararlanılmıştır. Model girdisi olarak Landsat 8 uydu görüntüleri ve enterpolasyon yöntemi ile alana dağıtılmış meteorolojik veriler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda enterpolasyon yöntemlerinin yağış, T_a , RH, u_2 ve ET_r gibi meteorolojik parametrelerin alansal dağılımında kullanılma etkinlikleri, GPM sistemi ile oluşturulan yağış haritalarının çalışma alanındaki doğruluk düzeyi, alansal dağılımı yapılmış meteorolojik parametrelerin Landsat 8 uydu görüntüleri ile bir arada kullanılarak ET haritalamada kullanılma etkinliği belirlenmiştir. Böylece uzaktan algılamaya dayalı yağış ve ET haritalamanın havza düzeyinde su yönetiminde kullanılma olanakları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda söz konusu yöntemlerin üstün yönleri ve zayıf yönleri ortaya koyulmuştur.

Çalışma kapsamında kalite kontrolünden geçirilen ve ardından kullanılan meteoroloji istasyonundan alınan yağış verilerinin % 30'u, enterpolasyon teknikleri ile hazırlanan yağış haritalarının doğruluklarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlara göre, ölçüm verilerine ek olarak istasyonların deniz seviyesinden olan yüksekliğinde veri olarak kullanıldığı Co-Kriging (COK) yöntemi ile yağışın alana dağıtılması oldukça etkili sonuçlar vermektedir. Ancak, havzalarda yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde enterpolasyon yöntemleri kullanarak istatistiksel olarak kabul edilebilir seviyede güvenilir sonuçların elde edilebilmesi için, yağış istasyonu sayısının olanaklar ölçüsünde fazla olması gerekmektedir. Fakat istasyon sayısının artırılması, arazi koşulları, yatırım ve işletme maliyetleri ve işgücü bakımından kısıtlara sahiptir. Bu nedenle istasyon sayısı enterpolasyon tekniklerinin uygulanması için yetersiz olan havzalarda yağışın bu yöntemler kullanılarak alansal olarak haritalanması doğru sonuçlar vermeyebilir. Böyle bir durumda yağışın

haritalanmasına olanak sağlayan alternatif bir yöntem olarak uzaktan algılama teknikleri kullanılabilir. Bu araştırmada GPM sisteminden aylık yağış verileri alınmış ve Kızılırmak havzası 2015 su yılı için düzenlenmiştir. Söz konusu veriler noktasal ve harita formatında olan çeşitli yağış ölçüm veri setleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, enterpolasyonla yağışın alana dağıtılmasında elde edilen doğruluk seviyesi ile benzer düzeydedir. Buna göre GPM sistemi ile yağışın alansal dağılımının izlenmesi havza su yönetimi çalışmaları için önemli potansiyele sahiptir. GPM uydu sistemi yağış ürünleri özellikle havzalarda yağışölçer verilerinin olmadığı, az olduğu veya yağışölçer verisinin kalitesiz olduğu durumlarda kullanılabilir. GPM sistemi yağış ürünlerinin konumsal çözünürlüğü 0.1°'dir (yaklaşık 11.1 x 11.1 km²). Söz konusu çözünürlük bu çalışmanın yürütüldüğü Kızılırmak havzası için yeterli seviyede bilgi sunabilmiştir. Buna göre Kızılırmak havzası gibi büyük havzalarda yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde GPM sistemi yağış haritalarının konumsal çözünürlük bakımından önemli bir kısıtı bulunmamaktadır. Ancak küçük ölçekli havzalarda GPM uydu ürünlerinin kullanımında çözünürlükten dolayı kısıtlar söz konusu olabilir. Diğer yandan yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve daha önce literatürde yer alan çalışmalara göre GPM yağış ürünleri yağış miktarını belirli seviyede yüksek vermektedir ve yerel yağış olayları GPM sistemi tarafından algılanamamaktadır. Bu durum daha yüksek konumsal çözünürlüklerin gerektiği, kuraklık izleme, sel ve taşkın analizleri gibi amaçlarla yağışın izlenmesinde doğruluğu azaltabilir. Bu nedenle yukarıda belirtilen sonuçlar uydu tabanlı yağış tahmin sistemlerinin hem yağış doğruluğunun hem de konumsal çözünürlüğünün arttırılmasını gerekli kılabilir. Yapılan birçok çalışmada bunu desteklemektedir (Li vd, 2012, Wilk vd, 2006; Tang vd, 2010; Pan vd, 2016; 2018). Sonuç olarak yağışın alansal dağılımının hassas bir biçimde belirlenmesi için çok sık yağışölçerin bulunduğu ağlarının kurulması ve enterpolasyon yöntemleri ile yağışın alanda dağıtılması öncelikli olarak önerilebilir. Ancak teknik, ekonomik ve işletme bakımından çoğu zaman bu tür ağların kurulması için yeterli imkan olmamaktadır. Bu tür havzalar için GPM sistemi gibi uzaktan algılama sistemlerinin kullanılması önerilebilir.

Bu çalışma kapsamında 1 Nisan – 1 Ekim 2015 dönemi için aylık ve toplam ET haritaları oluşturulmuştur. METRIC modeli ile ET haritalama çalışmalarının önemli bir kısmında çalışma sahasını temsilen tek bir meteoroloji istasyonunun verileri girdi

olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada enterpolasyon tekniği ile alana dağıtılan iklim verileri ve Landsat 8 uydu görüntüleri bir arada kullanılarak Kızılırmak havzasında hesaplama döneminde ET' nin farklı arazi kullanım koşullarında nasıl değiştiği ortaya koyulmuştur. ET haritalamanın klasik ET tahmin yöntemlerinden en önemli farkı sadece meteorolojik veriye dayalı olmaması, uydu görüntüleri ile alanda gerçekleşen vejetasyon, yüzey sıcaklığı ve buna bağlı koşulların ET hesabına dahil olmasıdır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, ET haritalarının arazi kullanımı ve yağış haritaları ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan söz konusu yöntem ve veri setleri kullanılarak Kızılırmak havzası gibi büyük havzalarda ET verilerinin orta seviyede yersel çözünürlükle haritalanmasında bazı kısıtlar bulunmaktadır. Büyük ölçekli bir havzada orta çözünürlükte (örneğin Landsat 8 için 30 m) ET'nin haritalanması amacıyla farklı çerçevelere ait çok sayıda uydu görüntüsünün kullanılması gerekmektedir. Bu görüntülerin enerji dengesi algoritmaları kullanarak bir yazılım aracılığıyla işlenmesi, işlenen görüntülerin birleştirilmesi, hem fazla zaman almakta hem de fazla işgücü gerektirmektedir. Ayrıca çalışma sonucunda oluşturulan çıktı haritalarının uzun süreli saklanması için yüksek kapasiteye sahip depolayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük ölçekli havzalarda yüksek ve orta çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanmak yerine, daha düşük çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanmak bu sorunları ortadan kaldıracaktır. Ancak bu durum büyük havzalarda, parsel düzeyinde tarım arazilerinin izlenmesini kısıtlayacaktır. Diğer bir kısıt ise uydu görüntülerinin bulutlu koşullarda ET haritalamaya olanak sağlayamamasıdır. Örneğin bu çalışmada Kızılırmak havzasının tamamı için ET haritaları sadece 1 Nisan – 1 Ekim dönemi için hazırlanabilmiş ve 1 Ekim 2014 – 1 Nisan 2015 döneminde görüntülerin aşırı bulutlu olması nedeni ile bütüncül ET haritaları hazırlanamamıştır. Bu kapsamda bulutluluğun yüksek olduğu dönemlerin ET' nin çok düşük dönemlerde olması olumlu bir yön olarak görülebilir.

Yürütülen bu çalışma ile dünyada ve Türkiye' de havza düzeyinde su yönetiminde uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması konusuna katkı sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan veriler ve teknikler Türkiye'de havza su yönetimi ve su kaynaklarının planlanması konularında sorumlu olan kamu kurum ve kuruluşlarına da katkı sağlayabilecek niteliktedir. Çalışma sonucunda elde edilen yağış ve ET haritaları havza düzeyinde, özellikle ölçüm verisinin olmadığı veya az olduğu büyük ölçekli havzalarda su bütçesi, havza su yönetimi gibi konularda girdi niteliği taşıdığından

oldukça önemlidir. Gelecekte yağış, ET ve diğer su bütçesi bileşenlerinin hassas bir şekilde ölçüldüğü bilimsel çalışmalarla günümüzde kullanılan modellerin kalibrasyonu, doğrulanması ve yeni modellerin geliştirilmesi yeni araştırma çalışmaları için konu teşkil edebilir.



6. KAYNAKLAR

- Abo-Monasar, A. and Al-Zahrani, M. A. 2014. Estimation of rainfall distribution for the southwestern region of Saudi Arabia. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 59:2, 420-431. doi:10.1080/02626667.2013.872788
- Ahmad, M. D., Biggs, T., Turrall, H. and Scott, C. A. 2006. Application of SEBAL approach and MODIS time-series a to map vegetation water use patterns in the data scarce Krishna river basin of India. *Water Science and Technology*, 53:10, 83-90. doi:10.2166/wst.2006.301
- Akbaş, F. 2004. Enstisol Ordosuna Ait Bir Arazide Bazı Toprak Özelliklerinin Değişiminin Geleneksel ve Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Gaziosmanpaşa Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, 113, Tokat
- Akgül, S. 2009. Gediz Havzasında Su Bütçesi Elemanlarındaki Değişimin Tarımsal Su Kullanımına Etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 246, Ankara
- Aksu, H. 2012. Aşağı Büyük Menderes Havzasında Buharlaştırma-Terleme Dağılımının Uzaktan Algılama Teknikleriyle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, 68, Ankara
- Alkan Olsson, J. and Andersson, L. 2005. Possibilities and problems with the use of hydrological models as a communication tool in water management. Submitted January 2005. *WARM/Advances in Global Change Research." Wat. Res. Manag. Special Issue*
- Allen, R G, Tasumi, M, Morse A, Trezza, R Wright, J L Bastiaanssen, W Kramber W, Lorite I and Robison, C W 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce*, 133:4, 395-406. doi:10.1061/(Asce)0733-94372007)133:4(395)
- Allen, R G, Tasumi, M, Morse, A and R. T. 2005. A Landsat-Based Energy Balance and Evapotranspiration Model in Western US Water Rights Regulation and Planning. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 19: 251-268
- Allen, R. G., Burnett, B, Kramber, W., Huntington, J., Kjaersgaard, J., Kilic, A., Kelly, C., Trezza, R. 2013. Automated Calibration of the METRIC-Landsat Evapotranspiration Process. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49:3, 563-576. doi:10.1111/jawr.12056

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56, Rome.
- Allen, R. G., Tasumi, M., and Trezza, R. 2007b. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133:4, 380-394. doi:10.1061/(Asce)0733-94372007)133:4(380)
- Anderson, M. C., Allen, R. G., Morse, A. and Kustas, W. P. 2012. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing of Environment*, 122, 50-65. doi:10.1016/j.rse.2011.08.025
- Anderson, M. C., Norman, J. M., Diak, G. R., Kustas, W. P. and Mecikalski, J. R. 1997. A two-source time-integrated model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 60:2, 195-216. doi:Doi 10.1016/S0034-4257(96)00215-5
- Anderson, M. C., Norman, J. M., Mecikalski, J. R., Otkin, J. A. and Kustas, W. P. 2007. A climatological study of evapotranspiration and moisture stress across the continental United States based on thermal remote sensing: 1. Model formulation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D10)
- Anonim, 2018a. http://www.suyonetimi.gov.tr/Files/Havzakormaeylemplanraporlari/K%C4%B1z%C4%B1%C4%B1rmak_Havzas%C4%B1.pdf (Erişim Tarihi: 08.08.2018).
- Anonim, 2018b. https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thorntonwaite.pdf (Erişim Tarihi: 11.10.2018).
- Anonim, 2018c. <http://www.resmiistatistik.gov.tr/?q=tr/content/16-corine-arazi-%C3%B6rt%C3%BCs%C3%BC>, (Erişim Tarihi: 08.08.2018).
- Anonim, 2018d. <http://corine.ormansu.gov.tr/corineportal/turkiyecalismalar.html> (Erişim Tarihi: 08.08.2018).
- Anonim, 2018e. http://www.nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=49 (Erişim Tarihi: 08.08.2018).
- Anonymous 2018a. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> (Erişim Tarihi: 08.08.2018).
- Anonymous, 2018b. <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/> (Erişim Tarihi: 01.10.2018).
- Anonymous, 2018c. <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp> (Erişim Tarihi: 08.08.2018).
- Anonymous, 2018d. http://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/overview/index.html (Erişim Tarihi: 08.08.2018).
- Anonymous, 2018e. <http://pmm.nasa.gov/GPM> (Erişim Tarihi: 08.08.2018).

- Anonymous, 2018f. https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGM_V05/summary (Erişim Tarihi: 01.10.2018).
- Anonymous, 2018g. <https://landsat.usgs.gov/using-usgs-landsat-8-product> (Erişim Tarihi: 09.08.2018).
- Anonymous, 2018h. <https://landsat.usgs.gov/qualitybant> (Erişim Tarihi: 09.08.2018)
- Arlot, S. and Alain, C. 2010. A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statist Surv*, 4, 40-79
- Armanios, D. E. and Fisher, J. B. 2014. Measuring water availability with limited ground data: assessing the feasibility of an entirely remote-sensing-based hydrologic budget of the Rufiji Basin, Tanzania, using TRMM, GRACE, MODIS, SRB, and AIRS. *Hydrological Processes*, 28:3, 853-867. doi:10.1002/hyp.9611
- Armutlulu, İ. H. 2008. İşletmelerde Uygulamalı İstatistik (2. Baskı), Alfa Yayıncılık
- ASCE-EWRI, 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. *ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Rep.* ASCE Reston
- Aslan, Ş. T. A., Gündoğdu, K. S. ve Demir, A. O. (2004). Sayısal Yükseklik Modelinden Yararlanılarak Bazı Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi: Bursa Karacabey İnkaya Göleti Havzası Örneği *Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18:1, 167-180
- Aydın, O. ve Çiçek, İ. 2013. Ege Bölgesi'nde Yağışın Mekânsal Dağılımı. . *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 11:2, 101-120
- Aydoğan, D. 2013. Basınçlı Sulama Şebekelerinde Sulama Suyu Uygulamalarının Uzaktan Algılama Yardımıyla Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 53, Samsun.
- Bagheri, M., Morid, S. and Arshad, S. 2017. Application of Remotely-Sensed Data to Estimate a Water Budget for Data-Scarce Endorheic Basins: A Case Study of Lake Urmia basin, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 45:1, 101-112. doi:10.1007/s12524-015-0522-9
- Baloch, M. A. and Tanık, A. 2009. Havza modelleme: Namnam Havzası'nın sınırlarının belirlenmesi ve karakterizasyonunda BASINS uygulaması. *itüdergisi/e su kirlenmesi kontrolü*, 19:1-2, 85-97
- Bargaoui, Z. K. and Chebbi, A. 2009. Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *Journal of Hydrology*, 365, 56-73
- Bastiaanssen, W. 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. . *SC-DLO*

- Bastiaanssen, W. 1999. The use of remote sensing to improve irrigation water management in developing countries. Operational Remote Sensing for Sustainable Development: 3-17. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000079334400003
- Bastiaanssen, W. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229:1-2, 87-100. doi:Doi 10.1016/S0022-1694(99)00202-4
- Bastiaanssen, W. and Bantara, K. M. P. S. 2001. Evaporative depletion assessments for irrigated watersheds in Sri Lanka. *Irrigation Science*, 21:1, 1-15. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000173096300001
- Bastiaanssen, W., Ahmad, M. U. D. and Chemin, Y. 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resources Research*, 38:12, doi:Artn 127310.1029/2001wr000386
- Bastiaanssen, W., Menenti, M., Feddes, R. A. and Holtslag, A. A. M. 1998a. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) - 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212:1-4, 198-212. doi:Doi 10.1016/S0022-1694(98)00253-4
- Bastiaanssen, W., Noordman, E. J. M., Pelgrum, H., Davids, G., Thoreson, B. P. and Allen, R. G. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131:1, 85-93. doi:10.1061/(Asce)0733-94372005)131:1(85)
- Bastiaanssen, W., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J. F., Roerink, G. J. and van der Wal, T. 1998b. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) - 2. Validation. *Journal of Hydrology*, 212:1, 213-229. doi:Doi 10.1016/S0022-1694(98)00254-6
- Beighley, R. E., Ray, R. L., He Y., Lee, H., Schaller, L., Andreadis, K. M., Durand, M., Shum, C. K. 2011. Comparing satellite derived precipitation datasets using the Hillslope River Routing (HRR) model in the Congo River Basin. *Hydrological Processes*, 25:20, 3216-3229. doi:10.1002/hyp.8045
- Bhattarai, N., Quackenbush, L. J., Im, J. and Shaw, S. B. 2017. A new optimized algorithm for automating endmember pixel selection in the SEBAL and METRIC models. *Remote Sensing of Environment*, 196, 178-192. doi:10.1016/j.rse.2017.05.009
- Bostan, P A, Heuvelink, G B M and Akyurek, S Z (2012). Comparison of regression and kriging techniques for mapping the average annual precipitation of Turkey. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 115–126
- Bostan, P. A. 2013. Analysis and Modeling of Spatially and Temporally Varying Meteorological Parameter: Precipitation Over Turkey. PHD Thesis, Middle East Technical University. 80, Ankara

- Bostan, P. A. and Akyürek, Z. 2012. Spatio-Temporal Analysis of Precipitation and Temperature Distribution over Turkey *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38
- Brown, P. J., Le, N. D. and Zidek, J. V. 1994. Multivariate Spatial Interpolation and Exposure to Air-Pollutants. *Canadian Journal of Statistics-Revue Canadienne De Statistique*, 22:4, 489-509. doi:Doi 10.2307/3315406
- Cambardella, C. A. and Karlen, D. L. 1999. Spatial Analysis of Soil Fertility Parameters. *Precision Agriculture*, 1:1, 5-14
- Cammalleri, C., Anderson, M. C., Gao, F., Hain, C. R. and Kustas W P 2014. Mapping daily evapotranspiration at field scales over rainfed and irrigated agricultural areas using remote sensing data fusion. *Agricultural and Forest Meteorology*, 186, 1-11. doi:10.1016/j.agrformet.2013.11.001
- Casimiro, W. S. L., Labat, D., Guyot, J. L. and Ronchail, J. 2009. TRMM rainfall data estimation over the Peruvian Amazon-Andes basin and its assimilation into a monthly water balance model. *In New Approaches to Hydrological Prediction in Datasparse Regions, Proceedings of Symposium HS, Vol. 2*
- Chai, H., Cheng, W., Zhou, C., Chen, X., Ma, X. and Zhao, S. 2011. Analysis and comparison of spatial interpolation methods for temperature data in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Natural Science*, 3:12, 999-1010
- Chen, C, Yu, Z. B., Li, L. and Yang, C. G. 2011. Adaptability Evaluation of TRMM Satellite Rainfall and Its Application in the Dongjiang River Basin. *2011 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology Esiat 2011*, 10:10, 396-402. doi:10.1016/j.proenv.2011.09.065
- Chen, F. W. and Liu, C. W. 2012. Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy Water Environ*, 10, 209–222
- Cheng, S. J., Hsieh, H. H. and Wang, Y. M. 2007. Geostatistical interpolation of space-time rainfall on Tamshui River basin, Taiwan. *Hydrological Processes*, 21:23, 3136-3145. doi:10.1002/hyp.6535
- Chuanyan, Z., Zhongren, Z. and Guodong, C. 2005. Methods for modelling of temporal and spatial distribution of air temperature at landscape scale in the southern Qilian mountains, China. *Ecological Modelling*, 189, 209–220
- Collischonn, B., Collischonn, W. and Tucci, C. E. M. 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, 360:1-4, 207-216. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.07.032
- Compaore, H., Hendrickx, J. M. H., Hong, S. H., Friesen, J., van de Giesen, N. C., Rodgers, C., Szarzynski, J., Vlek, P. L. G. 2008. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the white Volta basin, upper east Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33:1-2, 127-140. doi:DOI 10.1016/j.pce.2007.04.021

- Creutin, J. D. and Obled, C. (1982). Objective Analyses and Mapping Techniques for Rainfall Fields - an Objective Comparison. *Water Resources Research*, 18:2, 413-431. doi:DOI 10.1029/WR018i002p00413
- Çetin, S. 2013. Havza Bazında Evapotranspirasyon Tahmininde Uzaktan Algılama Tekniklerinin Kullanılması. Master Thesis, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 44, Samsun
- Çil, B., 2008. *İstatistik (7. Baskı)*. Detay Yayıncılık
- Derin, Y. and Yilmaz, K. 2014. Evaluation of Multiple Satellite-Based Precipitation Products over Complex Topography. *Journal of Hydrometeorology*, 15:4, 1498-1516 DOI: 10.1175/JHM-D-13-0191.1
- Derin, Y., Anagnostou, E., Berne, A., Borga, M., Boudevillain, B., Buytaert, W., Chang, C., Delrieu, G., Hong, Y., Hsu, Y.C., Lavado-Casimiro, W., Manz, B., Moges, S., Nikolopoulos, E.I., Sahlü, D., Salerno, F., Rodríguez-Sánchez, J., Vergara, H.J., and Yilmaz, K.K. 2016. Multi-regional Satellite Precipitation Products Evaluation over Complex Terrain. *Journal of Hydrometeorology*, 17, 1817-1836, doi: 10.1175/JHM-D-15-0197.1
- Droogers, P., Immerzeel, W. W. and Lorite, I. J. 2010. Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. *Agricultural Water Management*, 97:9, 1351-1359. doi:10.1016/j.agwat.2010.03.017
- Erşahin, S., Öztaş, Namlı, A., and Karahan, G., 2015. *Toprak amenajmanı*. Gazi Kitabevi, 639-665, Ankara.
- Ferrari, G., Mondéjar-Jiménez, J. and Vargas-Vargas, M. 2010. Environmental sustainable management of small rural tourist enterprises. *International Journal of Environmental Research*, 4:3, 407-414
- Gieske, A. and W. M. 2005. High density NOAA time series of ET in the Gediz Basin, Turkey. *Irrigation and Drainage Systems*, 19, 285-299
- Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York.
- Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228, 113-129
- Gowda, P. H., Chavez, J. L., Colaizzi, P. D., Evett, S. R., Howell, T. A. and Tolck J A 2008a. ET mapping for agricultural water management: present status and challenges. *Irrigation Science*, 26:3, 223-237. doi:10.1007/s00271-007-0088-6
- Gowda, P. H., Chavez, J. L., Howell, T. A., Marek, T. H. and New, L. L. 2008b. Surface energy balance based evapotranspiration mapping in the Texas High Plains. *Sensors*, 8:8, 5186-5201. doi:10.3390/s8085186

- Granger, R. J. 2000. Satellite-derived estimates of evapotranspiration in the Gediz basin. *Journal of Hydrology*, 229:1-2, 70-76. doi:Doi 10.1016/S0022-1694(99)00200-0
- Guillermo, Q., Tabios III, G. Q. and Salas, J. D. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Journal of the American Water Resources Association*, 21, 365–380
- Güreşci, N. G., Seyrek, K. and Sargin, A. H. 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Hidroloji Uygulamaları. *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknoloji Dairesi Başkanlığı, CBS Şube Müdürlüğü*
- Gürsakal, N. 2014. Çıkarımsal istatistik. Dora Yayıncılık, Bursa.
- Gürsakal, N. 2015. Betimsel istatistik. Dora Yayıncılık, Bursa.
- Ha, W., Gowda, P. H. and Howell, T. A. 2011. Downscaling of Land Surface Temperature Maps in the Texas High Plains with the TsHARP Method. *Giscience and Remote Sensing*, 48:4, 583-599. doi:Doi 10.2747/1548-1603.48.4.583
- Haberlandt, U. 2007. Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. *Journal of Hydrology*, 332:1-2, 144-157
- Hong, Y., Hsu, K. L., Sorooshian, S. and Gao, X. 2004. Precipitation Estimation from Remotely Sensed Imagery Using an Artificial Neural Network Cloud Classification System. *J. Appl. Meteor.*, 43: 1834–1853
- Hsu, K. L., Gao, X., Sorooshian, S. and Gupta, H. V. 1997. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9): 1176-1190
- Hu, Q. F., Yang, D. W., Li, Z., Mishra, A. K., Wang, Y. T. and Yang, H. B. 2014. Multi-scale evaluation of six high-resolution satellite monthly rainfall estimates over a humid region in China with dense rain gauges. *International Journal of Remote Sensing*, 35:4, 1272-1294. doi:10.1080/01431161.2013.876118
- Huffman, G. J., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Hong, Y., Stocker, E. F., Wolff, D. B., Stocker, E. F. and Wolf, D. B., 2007. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of hydrometeorology*, 8:1, 38-55.
- Huffman, J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P. and Yoo, S. H. 2018. NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG). *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 5.2*

- Hughes, D. A., Andersson, L., Wilk, J. and Savenije, H. H. G. 2006. Regional calibration of the Pitman model for the Okavango River. *Journal of Hydrology*, 331:1-2, 30-42. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.04.047
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M. 1989. *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J. and Pinter, P. J. 1981. Canopy Temperature as a Crop Water-Stress Indicator. *Water Resources Research*, 17:4, 1133-1138. doi:DOI 10.1029/WR017i004p01133
- Jia, Z. Z., Liu, S. M., Xu Z. W., Chen, Y. J. and Zhu, M. J. 2012. Validation of remotely sensed evapotranspiration over the Hai River Basin, China. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 117. doi:Artn D13113.10.1029/2011jd017037
- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A. and Xie, P. P. 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, 5:3, 487-503. doi: 10.1175/1525-7541(2004)005<0487:Camtpg>2.0.Co;2
- Kalma, J. D., McVicar, T. R. and McCabe, M. F. 2008. Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data. *Surveys in Geophysics*, 29:4-5, 421-469. doi:10.1007/s10712-008-9037-z
- Karimi, P., Bastiaanssen W G, Sood A, Hoogeveen J, Peiser L, Bastidas-Obanto E and Dost R (2015). Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting-Part 2: Reliability of water accounting results for policy decisions in the Awash Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19:1, 533
- Karimi, P. 2014a. Water Accounting Plus for Water Resources Reporting and River Basin Planning. TU Delft, Delft University of Technology
- Karimi, P. 2014b. Water Accounting Plus for Water resources Reporting and River Basin Planning. PHD Thesis, in Agricultural engineering-irrigation Ferdowsi University of Mashhad geboren te Jiroft, Iran.
- Karimi, P. and Bastiaanssen, W. 2015. Spatial evapotranspiration, rainfall and land use data in water accounting - Part 1: Review of the accuracy of the remote sensing data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19:1, 507-532. doi:10.5194/hess-19-507-2015
- Karimi, P., Bastiaanssen, W. and Molden, D. 2013a. Water Accounting Plus (WA plus) - a water accounting procedure for complex river basins based on satellite measurements. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17:7, 2459-2472. doi:10.5194/hess-17-2459-2013
- Karimi, P., Bastiaanssen, W., Molden, D. and Cheema, M. J. M. 2013b. Basin-wide water accounting based on remote sensing data: an application for the Indus

- Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17:7, 2473-2486. doi:10.5194/hess-17-2473-2013
- Kibria, B. M. G., Sun, L., Zidek, J. V. and Le, N. D. 2002). Bayesian spatial prediction of random space-time fields with application to mapping PM2.5 exposure. *Journal of the American Statistical Association*, 97:457, 112-124. doi:Doi 10.1198/016214502753479275
- Kimura, R., Bai, L., Fan, J., Takayama, N. and Hinokidani, O. 2007. Evapotranspiration estimation over the river basin of the Loess Plateau of China based on remote sensing. *Journal of Arid Environments*, 68:1, 53-65. doi:10.1016/j.jaridenv.2006.03.029
- Koksal, E. S., Cemek, B., Çetin, S., Gowda, P. H. and Howell, T. A. 2017. Estimating missing hourly climatic data using artificial neural network for energy balance based ET mapping applications. *Meteorological Applications*, 24:3, 457-465
- Kubota, T., Shige, S., Hashizume, H., Ushio, K., Aonashi, K., Kachi, M., Okamoto, K. 2007. Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45:7, 2259-2275. doi:10.1109/Tgrs.2007.895337
- Kurtzman, D., Navon, S. and Morin, E. 2009. Improving interpolation of daily precipitation for hydrologic modelling: spatial patterns of preferred interpolators. *Hydrological Processes*, 23:23, 3281-3291. doi:10.1002/hyp.7442
- Kustas, W. P. and Norman, J. M. 2000. A two-source energy balance approach using directional radiometric temperature observations for sparse canopy covered surfaces. *Agronomy Journal*, 92:5, 847-854. doi:DOI 10.2134/agronj2000.925847x
- Le, N. D., Sun, W. M. and Zidek, J. V. 1997. Bayesian multivariate spatial interpolation with data missing by design. *Journal of the Royal Statistical Society Series B-Methodological*, 59:2, 501-510. doi:Doi 10.1111/1467-9868.00081
- Lee, Y. and Kim, S. 2016. The Modified SEBAL for Mapping Daily Spatial Evapotranspiration of South Korea Using Three Flux Towers and Terra MODIS Data. *Remote Sensing*, 8:12, doi:ARTN 98310.3390/rs8120983
- Li, J. and Heap, A. D. 2008. Spatial interpolation methods: a review for environmental scientists. *Geoscience Australia, Record. Geoscience Australia, Canberra*
- Li, X-H. Zhang, Q. and Xu, C-Y. 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology*, 426, 28-38
- Liu, S. M., Sun, R., Sun, Z. P., Li, X. O. and Liu, C. M. 2006. Evaluation of three complementary relationship approaches for evapotranspiration over the

- Yellow River basin. *Hydrological Processes*, 20:11, 2347-2361. doi:10.1002/hyp.6048
- Losgedaragh, S. Z. and Rahimzadegan, M. 2018. Evaluation of SEBS, SEBAL, and METRIC models in estimation of the evaporation from the freshwater lakes (Case study: Amirkabir dam, Iran). *Journal of Hydrology*, 561, 523–531. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.025>
- Lu, G. Y. and Wong, D. W. 2008. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers and Geosciences*, 34:9, 1044–1055
- Luo, W., Taylor, M. C. and Parker, S. P. 2008. A comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales. *International Journal of Climatology*, 28, 947–959
- Luo, X., Wang, K. L., Jiang, H., Sun, J. and Zhu, Q. L. 2012. Estimation of land surface evapotranspiration over the Heihe River basin based on the revised three-temperature model. *Hydrological Processes*, 26:8, 1263-1269. doi:10.1002/hyp.8182
- Ly, S, Charles C and Degre A 2011. Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15:7, 2259-2274. doi:10.5194/hess-15-2259-2011
- Mohamed, Y., Bastiaanssen, W. and Savenije, H. 2004. Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques. *Journal of Hydrology*, 289:1-4, 145-164
- Mondéjar-Jiménez, J., Cordente-Rodríguez, M., Meseguer-Santamaría, M. and Gázquez-Abad, J. 2011. Environmental behavior and water saving in Spanish housing. *International Journal of Environmental Research*, 5:1, 1-10
- Moran, M. S., Rahman, A. F., Washburne, J. C., Goodrich, D. C., Weltz, M. A. and Kustas, W. P. 1996. Combining the Penman-Monteith equation with measurements of surface temperature and reflectance to estimate evaporation rates of semiarid grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80:2-4, 87-109. doi:Doi 10.1016/0168-1923(95)02292-9
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C. and Andréassian, V. 2006. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318:1-4, 200-214
- Mutua, F. and Kuria, D. 2012. A Comparison of Spatial Rainfall Estimation Techniques: A Case Study of Nyando River Basin Kenya. *Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology*, 14:2, 149-165
- Nguyen, X. T., Nguyen, B. T., Do, K. P., Bui, Q. H., Nguyen, T. N. T., Vuong, V. Q., & Le, T. H. (2015). Spatial Interpolation of Meteorologic Variables in Vietnam using the Kriging Method. *Journal of Information Processing Systems*, 11:1, 134-147

- Numata, I., Khand, K., Kjaersgaard, J., Cochrane, M. A. and Silva, S. S. 2017. Evaluation of Landsat-Based METRIC Modeling to Provide High-Spatial Resolution Evapotranspiration Estimates for Amazonian Forests. *Remote Sensing*, 9:1, doi:ARTN 4610.3390/rs9010046
- O'Bryant, S., Zhang, Y., Owen, D., Cherry, B., Ramirez, V., Silva, M., Hudson, C., Hobson, V., Grammas, P., Schiffer, R. B., Manning, G., Schrimsher, G. W., Lucas, J. A., Sutker, P. B. 2009. The cochran county aging study: Methodology and descriptive statistics. *Texas Public Health Journal*, 61:1, 5-7
- Özcan, O., Musaoğlu, N., Bookhagen, B. and Örmeci, C. 2013. Uydu ve Yersel Yağış Verilerinin Noktasal Frekans Analizi ile Mekânsal Değerlendirilmesi. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 11-13 Kasım, Ankara*
- Pocas, I., Paco, T. A., Cunha, M., Andrade, J. A., Silvestre, J., Sousa, A., Santos, F. L., Pereira, L. S., Allen, R. G. 2014. Satellite-based evapotranspiration of a super-intensive olive orchard: Application of METRIC algorithms. *Biosystems Engineering*, 128: 69-81. doi:10.1016/j.biosystemseng.2014.06.019
- Pombo, S. and de Oliveira, R. P. 2015. Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola. *Journal of Hydrology*, 523, 663-679. doi:10.1016/j.jhydrol.2015.02.014
- Prakash, S., Mitra, A. K., Pai, D. S. and AghaKouchak A. 2016. From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Advances in Water Resources*, 88, 1-7. doi:10.1016/j.advwatres.2015.11.008
- Ren, Z. H. and Li, M. L. 2007. Errors and correction of precipitation measurements in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 24:3, 449-458. doi:DOI 10.1007/s00376-007-0449-3
- Rodell, M., McWilliams, E. B., Famiglietti, J. S., Beaudoin, H. K. and Nigro, J. 2011. Estimating evapotranspiration using an observation based terrestrial water budget. *Hydrological Processes*, 25:26, 4082-4092. doi:10.1002/hyp.8369
- Roerink, G. J., Su, Z. and Menenti, M. 2000. S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Physics and Chemistry of the Earth Part B-Hydrology Oceans and Atmosphere*, 25:2, 147-157. doi:Doi 10.1016/S1464-1909(99)00128-8
- Saber M. and Yilmaz, K.K. 2018. Evaluation and Bias Correction of Satellite-Based Rainfall Estimates for Modelling Flash Floods over the Mediterranean region: Application to Karpuz River Basin, Turkey. *Water*, 10:5, 657, <https://doi.org/10.3390/w10050657>.
- Santos, C., Lorite, I. J., Tasumi, M., Allen, R. G. and Fereres, E. 2010. Performance assessment of an irrigation scheme using indicators determined with remote sensing techniques. *Irrigation Science*, 28:6, 461-477. doi:10.1007/s00271-010-0207-7
- Sarangi, A., Madramootoo, C. A. and Enright, P. 2006. Comparison of spatial variability techniques for runoff estimation from a Canadian watershed.

- Sawunyama, T. and Hughes, D. A. 2008. Application of satellite-derived rainfall estimates to extend water resource simulation modelling in South Africa. *Water Sa*, 34:1, 1-9. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000252744100001
- Senay, G. B., Bohms, S., Singh, R. K., Gowda, P. H., Velpuri, N. M., Alemu, H. and Verdin, J. P. 2013. Operational Evapotranspiration Mapping Using Remote Sensing and Weather Datasets: A New Parameterization for the SSEB Approach. *Journal of the American Water Resources Association*, 49:3, 577-591. doi:10.1111/jawr.12057
- Skaugen, T. and Andersen, J. 2010. Simulated precipitation fields with variance-consistent interpolation. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 55:5, 676-686. doi:10.1080/02626667.2010.487976
- Sorooshian, S., Hsu, K. L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B. and Braithwaite, D. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81:9, 2035-2046. Doi: 10.1175/1520-0477(2000)081<2035:Eopsse>2.3.Co;2
- Soytekin, A. 2010. Evaluating The Use of Satellite-Based Precipitation Estimates For Discharge Estimation in Ungauged Basins. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 106, Ankara.
- Stisen, S., Jensen, K. H., Sandholt, I. and Grimes, D. I. 2008. A remote sensing driven distributed hydrological model of the Senegal River basin. *Journal of Hydrology*, 354:1-4, 131-148
- Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6:1, 85-99. doi: 10.5194/hess-6-85-2002
- Taesombat, W. and Sriwongsitanon, N. 2009. Areal rainfall estimation using spatial interpolation techniques. *Scienceasia*, 35:3, 268-275. doi:10.2306/scienceasia1513-1874.2009.35.268
- Taghvaeian, S. and Neale, C. M. 2011. Water balance of irrigated areas: a remote sensing approach. *Hydrological Processes*, 25:26, 4132-4141
- Tang, G. Q., Behrangi A., Long, D., Li, C. M. and Hong, Y. 2018. Accounting for spatiotemporal errors of gauges: A critical step to evaluate gridded precipitation products. *Journal of Hydrology*, 559, 294-306. doi:10.1016/j.jhydrol.2018.02.057
- Tang, G. Q., Zeng, Z. Y, Long, D., Guo, X. L., Yong, B., Zhang, W. H. and Hong, Y. 2016. Statistical and Hydrological Comparisons between TRMM and GPM Level-3 Products over a Midlatitude Basin: Is Day-1 IMERG a Good Successor for TMPA 3B42V7? *Journal of Hydrometeorology*, 17:1, 121-137. doi:10.1175/Jhm-D-15-0059.1

- Tang, R. L., Li, Z. L., Chen, K. S., Jia, Y. Y., Li, C. R. and Sun X M 2013. Spatial-scale effect on the SEBAL model for evapotranspiration estimation using remote sensing data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 174, 28-42. doi:10.1016/j.agrformet.2013.01.008
- Tasumi, M. and Allen R. G. 2007. Satellite-based ET mapping to assess variation in ET with timing of crop development. *Agricultural Water Management*, 88:1-3, 54-62. doi:10.1016/j.agwat.2006.08.010
- Tasumi, M., Allen, R. G. and Trezza, R. 2008. At-surface albedo from Landsat and MODIS satellites for use in energy balance studies of evapotranspiration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13:2, 51-63
- Tasumi, M., Allen, R. G., Trezza, R. and Wright, J. L. 2005. Satellite-based energy balance to assess with in-population variance of crop coefficient curves. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131:1, 94-109. doi:10.1061/(Asce)0733-9437(2005)131:1(94)
- Taylan, E. D. ve Damçayırı, D. 2016. Isparta Bölgesi Yağış Değerlerinin IDW ve Kriging Enterpolasyon Yöntemleri ile Tahmini. *İMO Teknik Dergi*, 27:3, 7551-7559
- Teixeira, A. H. D. C, Bastiaanssen, W. G. M., Ahmad, M. D. and Bos, M. G. 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149:3-4, 462-476. doi:10.1016/j.agrformet.2008.09.016
- Templeton, R. C., Vivoni, E. R., Mendez-Barroso, L. A., Pierini, N. A., Anderson, C. A., Rango, A., Laliberte, A. S., Scott, R. L. 2014. High-resolution characterization of a semiarid watershed: Implications on evapotranspiration estimates. *Journal of Hydrology*, 509, 306-319. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.11.047
- Varikoden, H., Samah, A. A. and Babu, C. A. 2010. Spatial and temporal characteristics of rain intensity in the peninsular Malaysia using TRMM rain rate. *Journal of Hydrology*, 387:3-4, 312-319. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.04.023
- Visessri, S. and McIntyre N. 2012. Comparison between the TRMM Product and Rainfall Interpolation for Prediction in Ungauged Catchments. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs, International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting)
- Wagle, P., Bhattarai N., Gowda P. H. and Kakani V. G. 2017. Performance of five surface energy balance models for estimating daily evapotranspiration in high biomass sorghum. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 192-203. doi:10.1016/j.isprsjprs.2017.03.022
- Wagner, P. D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S. and Schneider, K. 2012. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce

- regions. *Journal of Hydrology*, 464, 388-400. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.07.026
- Wang, S., Huang, J., Li, J., Rivera, A., McKenney, D. W. and Sheffield, J. 2014. Assessment of water budget for sixteen large drainage basins in Canada. *Journal of Hydrology*, 512, 1-15
- Wilk, J., Kniveton, D., Andersson, L., Layberry, R., Todd, M. C., Hughes, D., Ringrose, S., Vanderpost, C. 2006. Estimating rainfall and water balance over the Okavango River Basin for hydrological applications. *Journal of Hydrology*, 331:1-2, 18-29. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.04.049
- Xu, R., Tian, F., Yang, L., Hu, H., Hui, L. and Hou, A. 2017. Ground validation of GPM IMERG and TRMM 3B42V7rainfall products over southern Tibetan Plateaubased on a high-density rain gauge network. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 122, 910-924. doi:doi:10.1002/2016JD025418
- Xu, W., Tran, T. T., Srivastava, R. M. and Journel, A. G. 1992. Integrating seismic data in reservoir modeling: the collocated cokriging alternative. *Society of Petroleum Engineers, paper no. 24742*
- Xue, B. L., Wang, L., Li, X. P., Yang, K., Chen, D. L. and Sun, L. T. 2013. Evaluation of evapotranspiration estimates for two river basins on the Tibetan Plateau by a water balance method. *Journal of Hydrology*, 492, 290-297. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.04.005
- Yılmaz, M. U., Özgür, E., ve Yeğen, E. B., 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi. *VII. Uluslar arası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*: 28-30
- Yilmaz, K. K., Adler, R.F., Tian, Y., Hong, Y., Pierce, H., 2010. Evaluation of a Satellite-based Global Flood Monitoring System. *International Journal of Remote Sensing*, 31:14, 3763-3782.
- Yilmaz, K. K., Hogue, T.S., Hsu, K., Sorooshian, S., Gupta, H.V., and Wagener, T., 2005. Intercomparison of Rain Gauge, Radar and Satellite-based Precipitation Estimates with Emphasis on Hydrologic Forecasting. *Journal of Hydrometeorology*, AMS, 6:4, 497-517.
- Yong, B., Ren, L. L., Hong, Y., Wang, J. H., Gourley, J. J., Jiang, S. H., Chen, X., Wang, W. 2010. Hydrologic evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude bant: A case study in Laohahe basin, China. *Water Resources Research*, 46. doi:Artn W0754210.1029/2009wr008965
- Yurtsever, N., 1984. Deneysel İstatistik Metotlar, Tarım, Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 121, Ankara.
- Zhang, X. S., and Srinivasan, R. 2009. GIS-Based Spatial Precipitation Estimation: A Comparison of Geostatistical Approaches(1). *Journal of the American Water Resources Association*, 45:4, 894-906. doi:10.1111/j.1752-1688.2009.00335.x

- Zhao, F. F., Zhang, L., Chiew, F. H. S., Vaze, J. and Cheng, L. 2013. The effect of spatial rainfall variability on water balance modelling for south-eastern Australian catchments. *Journal of Hydrology*, 493, 16-29. doi:10.1016/j.jhydrol.2013.04.028
- Zhou, X. Y., Bi, S. J., Yang, Y. H., Tian, F. and Ren, D. D. 2014. Comparison of ET estimations by the three-temperature model, SEBAL model and eddy covariance observations. *Journal of Hydrology*, 519, 769-776. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.08.004



EKLER

EK 1. AYLİK YAĞIŞ VERİLERİNİN TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ

EK 2. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK HAVA SICAKLIĞININ (TA) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ

EK 3. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK ORANSAL NEMİN (RH) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ

EK 4. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN SAATLİK RÜZGÂR HIZININ (u_2) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ

EK 5. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN TEMİN EDİLEN AYLİK REFERANS BİTKİ SU TÜKRTİMİNİN (ETR_{AYLIK}) TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ

**EK 1. KIZILIRMAK HAVZASINDA 2015 SU YILI İÇİN TEMİN EDİLEN
AYLIK YAĞIŞ VERİLERİNİN TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ**

Aylar	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart hata	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı (%)	Dağılım
Ekim	10.700	232.800	45.285	29.233	3.8073	23.071	64.553	Log-Normal
Kasım	13.100	199.800	41.240	28.394	3.4577	17.817	68.851	Log-Normal
Aralık	3.200	174.800	35.749	26.781	3.012	13.545	74.914	Log-Normal
Ocak	10.200	140.700	31.400	24.645	2.5418	9.9204	78.487	Log-Normal
Şubat	5.600	186.400	36.073	26.928	3.5308	17.856	74.649	Log-Normal
Mart	32.600	171.100	71.049	23.737	1.6798	7.2688	33.409	Log-Normal
Nisan	6.200	99.900	24.018	15.703	2.2162	19.300	65.380	Log-Normal
Mayıs	20.600	131.600	53.193	18.120	1.0344	6.0194	34.065	Log-Normal
Haziran	0.000	177.000	43.848	55.987	0.8094	2.1786	127.684	Log-Normal
Temmuz	0.000	24.900	3.426	5.2911	2.2389	7.643	154.458	Log-Normal
Ağustos	0.000	86.300	16.221	16.319	1.7297	6.1861	100.604	Log-Normal
Eylül	0.000	93.000	9.344	14.09	3.3127	17.624	150.785	Log-Normal

**EK 2. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN
TEMİN EDİLEN SAATLİK HAVA SICAKLIĞININ (Ta) TANIMLAYICI
İSTATİSTİK DEĞERLERİ**

Tarihler	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart sapma	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı (%)	Dağılım
02.10.2014	6.600	17.700	14.244	1.932	-1.046	5.852	13.565	Log-Normal
09.10.2014	7.900	19.200	16.176	1.823	-1.821	9.052	11.272	Log-Normal
16.10.2014	8.300	17.800	13.909	2.084	-0.580	2.918	14.981	Log-Normal
10.11.2014	8.100	16.500	13.711	1.375	-1.061	7.077	10.029	Log-Normal
12.11.2014	10.700	15.800	12.707	0.718	0.344	3.668	5.654	Log-Normal
17.11.2014	4.800	12.300	9.585	1.976	-1.200	3.457	20.614	Log-Normal
19.11.2014	8.800	14.200	11.643	1.261	0.063	2.580	10.826	Log-Normal
05.02.2015	-0.900	14.800	7.034	2.471	-0.675	6.005	75.875	Log-Normal
09.03.2015	10.100	17.800	14.274	1.865	-0.085	2.569	13.067	Log-Normal
25.03.2015	10.100	17.800	14.274	1.565	-0.085	2.569	10.965	Log-Normal
03.04.2015	2.600	11.300	5.822	1.386	0.863	6.169	23.797	Log-Normal
19.04.2015	12.000	20.400	16.813	1.841	-0.198	2.479	10.948	Log-Normal
28.04.2015	7.500	20.400	17.294	1.994	-2.325	12.045	11.532	Log-Normal
05.05.2015	9.900	14.400	14.181	1.798	-0.201	2.203	12.677	Log-Normal
07.05.2015	13.900	19.800	17.259	1.368	-0.377	2.413	7.926	Log-Normal
12.05.2015	6.700	17.600	14.231	1.798	-1.275	7.010	12.634	Log-Normal
14.05.2015	8.800	17.200	12.759	2.065	0.111	2.388	16.183	Log-Normal
21.05.2015	15.200	24.700	20.794	1.883	-0.300	3.260	9.054	Log-Normal
15.06.2015	14.800	22.800	19.196	2.040	-0.110	2.363	10.629	Log-Normal
01.07.2015	17.700	23.700	21.233	1.371	-0.205	2.836	6.459	Log-Normal
15.07.2015	19.100	26.200	22.656	1.505	-0.202	2.556	6.643	Log-Normal
17.07.2015	16.300	24.500	20.573	1.861	-0.117	2.614	9.044	Log-Normal
24.7.2015	25.300	33.400	28.831	1.594	0.121	3.129	5.529	Log-Normal
26.07.2015	24.400	31.600	27.647	1.660	0.438	2.609	6.002	Log-Normal
31.07.2015	24.800	33.800	29.457	2.057	0.089	2.641	6.984	Log-Normal
09.08.2015	23.700	29.500	26.155	1.395	0.022	2.002	5.332	Log-Normal
11.08.2015	22.800	30.200	26.414	1.691	0.090	2.460	6.403	Log-Normal
16.08.2015	20.300	25.900	23.627	1.264	-0.459	2.661	5.348	Log-Normal
18.08.2015	25.100	31.200	28.618	1.385	-0.263	2.650	4.840	Log-Normal
01.09.2015	18.900	25.700	21.773	1.670	0.239	2.206	7.672	Log-Normal
03.09.2015	25.100	32.000	27.840	1.060	0.646	5.966	3.808	Log-Normal
10.09.2015	20.900	28.300	24.413	1.837	-0.021	2.223	7.523	Log-Normal
12.09.2015	23.400	31.400	28.170	1.676	-0.903	3.930	5.950	Log-Normal
17.09.2015	20.100	27.700	23.724	1.576	0.022	2.538	6.645	Log-Normal
19.09.2015	19.400	29.900	23.566	1.899	0.388	4.151	8.059	Log-Normal
26.09.2015	19.200	25.900	22.605	1.656	0.050	2.241	7.324	Log-Normal
28.09.2015	21.700	26.500	21.103	1.208	-0.323	2.336	5.725	Log-Normal

**EK 3. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN
TEMİN EDİLEN SAATLİK ORANSAL NEMİN (RH) TANIMLAYICI
İSTATİSTİK DEĞERLERİ**

Tarihler	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart sapma	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı (%)	Dağılım
02.10.2014	30.000	74.000	47.704	7.997	0.334	3.837	16.763	Log-Normal
09.10.2014	34.000	87.000	55.630	8.688	0.592	4.976	15.618	Log-Normal
16.10.2014	31.000	93.000	73.204	9.207	-1.339	9.688	9.900	Log-Normal
10.11.2014	20.000	80.000	35.352	12.029	1.226	4.912	34.026	Log-Normal
12.11.2014	37.000	69.000	52.093	6.716	0.356	2.986	12.892	Log-Normal
17.11.2014	61.000	97.000	77.093	77.093	9.831	0.621	10.000	Log-Normal
19.11.2014	41.000	84.000	1.296	10.104	0.150	2.102	77.963	Log-Normal
05.02.2015	45.000	84.000	61.698	8.464	0.256	3.123	13.718	Log-Normal
09.03.2015	22.000	62.000	42.722	11.309	-0.375	2.252	26.471	Log-Normal
25.03.2015	22.000	62.000	42.722	11.309	-0.375	2.252	26.471	Log-Normal
03.04.2015	41.000	77.000	60.358	8.689	-0.124	2.791	14.396	Log-Normal
19.04.2015	22.000	68.000	35.907	7.668	1.218	6.993	21.356	Log-Normal
28.04.2015	33.000	57.000	41.222	5.410	0.740	3.316	13.125	Log-Normal
05.05.2015	28.000	65.000	49.278	7.696	-0.255	3.161	15.617	Log-Normal
07.05.2015	29.000	58.000	45.481	6.167	-0.618	3.783	13.559	Log-Normal
12.05.2015	35.000	90.000	52.352	8.503	1.184	8.696	16.243	Log-Normal
14.05.2015	37.000	76.000	56.426	8.114	0.016	2.667	14.380	Log-Normal
21.05.2015	20.000	66.000	33.852	8.206	1.598	7.074	24.241	Log-Normal
15.06.2015	54.000	78.000	65.093	6.405	0.319	2.208	9.840	Log-Normal
01.07.2015	45.000	62.000	54.673	4.391	-0.284	2.107	8.032	Log-Normal
15.07.2015	26.100	83.600	39.099	8.299	1.979	10.827	21.224	Log-Normal
17.07.2015	33.000	67.000	49.153	6.975	0.132	3.330	14.190	Log-Normal
24.7.2015	13.000	80.000	33.984	12.273	0.828	5.094	36.114	Log-Normal
26.07.2015	18.000	67.000	36.133	7.010	1.878	10.311	19.399	Log-Normal
31.07.2015	18.000	80.000	33.767	8.983	2.714	14.124	26.602	Log-Normal
09.08.2015	36.000	73.000	45.367	5.793	2.098	10.663	12.769	Log-Normal
11.08.2015	34.000	73.000	49.678	8.010	0.278	2.984	16.123	Log-Normal
16.08.2015	30.000	59.000	40.932	5.985	0.683	3.824	14.622	Log-Normal
18.08.2015	23.000	72.000	37.583	7.347	3.233	16.078	19.548	Log-Normal
01.09.2015	18.000	60.000	36.367	9.685	0.225	2.163	26.631	Log-Normal
03.09.2015	14.000	82.000	23.050	9.994	4.650	25.762	43.357	Log-Normal
10.09.2015	19.000	68.000	50.967	11.932	-0.734	2.773	23.411	Log-Normal
12.09.2015	26.000	84.000	36.933	11.137	2.454	9.972	30.155	Log-Normal
17.09.2015	21.000	86.000	42.966	12.729	0.833	4.182	29.626	Log-Normal
19.09.2015	14.000	78.000	41.983	11.881	0.261	3.482	28.300	Log-Normal
26.09.2015	36.000	77.000	47.117	7.461	1.567	6.276	15.835	Log-Normal
28.09.2015	13.000	74.000	33.100	9.203	1.943	11.073	27.805	Log-Normal

**EK 4. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN
TEMİN EDİLEN SAATLİK RÜZGÂR HIZININ (u_2) TANIMLAYICI
İSTATİSTİK DEĞERLERİ**

Tarihler	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart sapma	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı (%)	Dağılım
02.10.2014	0.669	6.019	3.035	1.524	0.136	1.871	50.211	Log-Normal
09.10.2014	0.335	6.353	2.623	1.540	0.436	2.245	58.715	Log-Normal
16.10.2014	0.335	4.681	1.981	1.051	0.561	2.743	53.037	Log-Normal
10.11.2014	0.335	3.677	1.376	0.846	0.918	3.276	61.530	Log-Normal
12.11.2014	0.335	3.008	1.164	0.619	1.160	4.158	53.200	Log-Normal
17.11.2014	0.335	3.343	1.220	0.782	0.876	2.928	64.124	Log-Normal
19.11.2014	0.335	4.012	1.351	0.822	1.243	5.198	60.823	Log-Normal
05.02.2015	0.335	5.684	2.392	1.369	0.311	2.145	13.010	Log-Normal
09.03.2015	0.335	5.015	1.728	0.999	1.403	5.404	57.830	Log-Normal
25.03.2015	0.335	5.015	1.728	0.999	1.403	5.404	57.830	Log-Normal
03.04.2015	0.669	5.696	1.635	0.785	2.858	14.704	47.997	Log-Normal
19.04.2015	1.673	8.358	5.740	1.559	-0.687	3.260	27.151	Log-Normal
28.04.2015	0.669	5.350	2.254	0.996	0.778	3.354	44.173	Log-Normal
05.05.2015	0.335	6.019	2.056	1.157	1.148	4.405	56.272	Log-Normal
07.05.2015	0.335	5.015	1.678	0.949	1.190	4.553	56.533	Log-Normal
12.05.2015	0.669	5.350	2.978	1.207	-0.077	1.862	40.510	Log-Normal
14.05.2015	0.335	4.346	2.136	0.898	0.385	2.635	42.042	Log-Normal
21.05.2015	0.669	7.689	2.947	1.552	1.398	4.807	52.657	Log-Normal
15.06.2015	0.335	5.015	2.297	1.067	0.389	2.734	46.467	Log-Normal
01.07.2015	0.335	5.684	2.212	0.978	1.054	5.644	44.194	Log-Normal
15.07.2015	0.649	4.671	2.288	0.962	0.528	2.692	42.067	Log-Normal
17.07.2015	1.004	7.357	4.296	1.469	-0.155	2.454	34.202	Log-Normal
24.7.2015	0.335	5.684	1.913	1.027	1.197	4.786	53.672	Log-Normal
26.07.2015	0.335	4.012	2.029	0.876	0.529	2.453	43.199	Log-Normal
31.07.2015	0.335	6.353	2.664	1.404	0.609	2.702	52.688	Log-Normal
09.08.2015	0.335	4.681	2.580	1.137	-0.049	1.976	44.049	Log-Normal
11.08.2015	0.669	5.684	2.352	1.112	0.843	3.441	47.277	Log-Normal
16.08.2015	0.669	4.681	2.341	1.015	0.474	2.575	43.378	Log-Normal
18.08.2015	0.335	3.677	1.477	0.689	1.032	4.642	46.643	Log-Normal
01.09.2015	0.669	5.015	2.797	1.153	0.172	2.146	41.213	Log-Normal
03.09.2015	0.335	3.677	1.446	0.706	0.907	3.827	48.861	Log-Normal
10.09.2015	0.335	4.012	1.793	0.830	0.425	2.730	46.279	Log-Normal
12.09.2015	0.335	6.019	2.140	1.130	1.130	0.861	52.803	Log-Normal
17.09.2015	0.335	6.019	2.091	1.051	0.915	4.832	50.244	Log-Normal
19.09.2015	0.335	8.693	2.023	1.356	2.339	11.195	67.031	Log-Normal
26.09.2015	0.335	4.681	2.079	0.927	0.680	3.201	44.607	Log-Normal
28.09.2015	0.669	3.677	1.791	0.890	0.434	1.996	49.708	Log-Normal

**EK 5. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN
TEMİN EDİLEN AYLIK REFERANS BİTKİ SU TÜKETİMİNİN (ET_{aylık})
TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ**

Aylar	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart sapma	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı (%)	Dağılım
Ekim	22.92	163.38	89.758	19.163	-0.123	7.151	21.349	Normal
Kasım	27.91	79.105	47.46	12.061	-0.147	3.638	25.412	Normal
Aralık	16.8	65.629	38.607	10.565	0.168	3.734	27.365	Normal
Ocak	15.67	59.747	32.372	9.441	0.615	3.219	29.164	Log-Normal
Şubat	28.415	70.35	52.501	8.775	-0.091	2.982	16.713	Normal
Mart	50.8	104.32	74.451	10.902	0.462	2.965	14.643	Normal
Nisan	86.67	154.18	114.49	11.752	0.401	3.764	10.264	Normal
Mayıs	111.25	207.07	167.19	18.814	-0.480	3.238	11.253	Normal
Haziran	113.16	185.75	147.11	18.375	0.239	2.242	12.490	Normal
Temmuz	149.16	345.63	253.15	38.425	-0.009	2.799	15.178	Normal
Ağustos	161.14	298.16	235.62	32.57	-0.052	2.472	13.823	Normal
Eylül	120.64	252.39	198.5	30.217	-0.281	2.599	15.222	Normal

**EK 6. KIZILIRMAK HAVZASINDA LANDSAT 8 ÇEKİM GÜNLERİ İÇİN
TEMİN EDİLEN SAATLİK REFERANS BİTKİ SU TÜKETİMİNİN (ETr_{saatlik})
TANIMLAYICI İSTATİSTİK DEĞERLERİ**

Tarihler	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart sapma	Çarpıklık	Basıklık	Varyasyon Katsayısı (%)	Dağılım
02.10.2014	0,175	0,621	0,447	0,111	-0,917	3,374	8,244	Log-Normal
09.10.2014	0,119	0,563	0,417	0,092	-1,261	5,284	22,039	Log-Normal
16.10.2014	0,105	0,424	0,301	0,095	-0,791	2,314	31,489	Log-Normal
10.11.2014	0,142	0,480	0,324	0,069	-0,407	3,645	21,325	Log-Normal
12.11.2014	0,136	0,413	0,286	0,064	-0,728	3,228	22,226	Log-Normal
17.11.2014	0,063	0,293	0,191	0,070	-0,562	2,010	36,810	Log-Normal
19.11.2014	0,095	0,308	0,228	0,047	-0,359	2,954	20,429	Log-Normal
05.02.2015	0,149	0,527	0,278	0,062	1,044	7,107	22,269	Log-Normal
09.03.2015	0,140	0,598	0,426	0,094	-0,953	4,359	22,046	Log-Normal
25.03.2015	0,140	0,598	0,426	0,094	-0,953	4,359	22,046	Log-Normal
03.04.2015	0,154	0,498	0,324	0,078	-0,543	2,707	24,006	Log-Normal
19.04.2015	0,359	0,902	0,689	0,101	-0,700	4,306	14,628	Log-Normal
28.04.2015	0,127	0,689	0,586	0,088	-2,888	14,645	14,946	Log-Normal
05.05.2015	0,379	0,653	0,543	0,050	-0,247	3,718	9,275	Log-Normal
07.05.2015	0,114	0,705	0,579	0,083	-3,167	18,699	14,408	Log-Normal
12.05.2015	0,122	0,692	0,534	0,506	-1,805	7,189	94,703	Log-Normal
14.05.2015	0,109	0,661	0,440	0,144	-0,389	2,192	32,666	Log-Normal
21.05.2015	0,359	0,892	0,726	0,100	-0,685	4,514	13,791	Log-Normal
15.06.2015	0,504	0,725	0,490	0,163	-0,237	1,718	33,250	Log-Normal
01.07.2015	0,245	0,809	0,616	0,119	-1,407	4,772	19,292	Log-Normal
15.07.2015	0,367	0,865	0,688	0,077	-1,028	6,423	11,233	Log-Normal
17.07.2015	0,439	0,907	0,700	0,089	-0,436	3,789	12,752	Log-Normal
24.7.2015	0,597	1,005	0,765	0,091	0,722	3,091	11,895	Log-Normal
26.07.2015	0,550	0,925	0,745	0,075	-0,059	3,356	10,112	Log-Normal
31.07.2015	0,605	0,941	0,791	0,088	-0,156	2,104	17,726	Log-Normal
09.08.2015	0,554	0,848	0,714	0,071	-0,199	2,790	9,896	Log-Normal
11.08.2015	0,463	0,940	0,678	0,089	0,212	3,547	13,174	Log-Normal
16.08.2015	0,387	0,875	0,703	0,077	-1,001	6,305	10,920	Log-Normal
18.08.2015	0,285	0,916	0,675	0,112	-1,011	5,745	16,565	Log-Normal
01.09.2015	0,488	0,898	0,671	0,091	0,092	2,338	13,499	Log-Normal
03.09.2015	0,452	0,856	0,681	0,073	-0,392	4,230	53,630	Log-Normal
10.09.2015	0,414	0,766	0,559	0,073	0,261	2,845	13,020	Log-Normal
12.09.2015	0,110	0,901	0,650	0,139	-1,418	6,289	21,413	Log-Normal
17.09.2015	0,153	0,968	0,595	0,119	-0,306	5,884	19,997	Log-Normal
19.09.2015	0,345	0,852	0,583	0,101	0,338	2,972	33,420	Log-Normal
26.09.2015	0,382	0,676	0,542	0,070	-0,207	2,401	12,943	Log-Normal
28.09.2015	0,340	0,796	0,576	0,089	0,526	3,324	15,537	Log-Normal

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Sakine ÇETİN

Doğum Yeri : Samsun

Doğum Tarihi : 01.01.1987

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Samsun Ondokuz Mayıs Lisesi (2003)

Önlisans : Kocaeli Üniversitesi, Peyzaj (2007)

Lisans : Ondokuz Mayıs Lisesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama (2010)

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Lisesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama (Eylül 2010 – Ocak 2013)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl: Araştırma Görevlisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi (2012-2019)

Yayınlar

Cemek, B., **Çetin, S.**, Yıldırım, D. 2011. Çiftlik Ve Kümes Hayvanlarının Su Tüketimi Ve Su Kalite Özellikleri, *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 4:1, 57-67

Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Aydoğan, D., Bilgen, M. 2012. Bitki Su Tüketimi Haritalarının Oluşturulmasında Metriç Modeli Ve Uydu Görüntülerinin Kullanılması: Merzifon Ovasının Bir Bölümü İçin Örnek Hesaplama, Sözlü Sunum, II. Ulusal Sulama Ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24 Mayıs, İzmir

Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Demir, Y., Aydoğan, D., Bilgen, M. 2012. Hissedilebilir Isı Akısının Uydu Görüntüleri Kullanılarak Hesaplanması, II. Ulusal Sulama Ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24 Mayıs, İzmir

Çetin, S., Köksal, E. S., Aydoğan, D., Bilgen, M. 2012. Uydu Görüntüsü Kullanılarak Net Radyasyonun Hesaplanması, II. Ulusal Sulama Ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24 Mayıs, İzmir

Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Çakır, R., Tarı, A. F., Evren, S., Çetin, Ö., Akgül, S. 2013. Uzaktan Algılama ve Evapotranspirasyon Haritalama Çalışmalarının Türkiye'de Su Kaynakları Yönetiminde Kullanım Olanaklarının Değerlendirilmesi, III. Ulusal Toprak Ve Su Kaynakları Kongresi, 22 Ekim, Tokat

- Safi, S., Köksal, E. S. ve **Çetin, S.** 2013. Kazova'da Su Kullanımı ve Vejetasyon Durumunun Landsat 5-Tm Uydu Görüntüleri Yardımıyla Değerlendirilmesi, III. Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 22 Ekim, Tokat
- Çetin, S.**, Köksal, E. S. ve Safi, S. 2013. Basınçlı Sulama Şebekelerinde Parsel Düzeyinde Sulama Suyu Uygulamalarının Uzaktan Algılama Teknikleri İle Belirlenme Olanakları, III. Ulusal Toprak Ve Su Kaynakları Kongresi, 22 Ekim, Tokat
- Taşan, M., **Çetin, S.**, Köksal, E. S., 2014. Fındığın (*Corylus avellana* L.) Sulama Suyu İhtiyacı ve Alternatif Bitkilerin Değerlendirilmesi. 12. Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs, Tekirdağ
- Ekiz, N. M. Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Tunca, E., Çoban, U. 2016. Yüzey Sıcaklığının Alansal Ve Zamansal Değişiminin Hava Sıcaklığı ve Bitkilere Göre Değerlendirilmesi , 13. Ulusal Kültür Teknik Kongresi, 12 Nisan, Antalya
- Çetin S.**, Köksal, E. S., Tunca, E., Çoban, U., Ekiz, N.M. Taşan, M. 2016. Buğday, Arpa, Mısır, Şeker Pancarı ve Soğanın Günlük Kısa ve Uzun Dalga Boylu Net Radyasyon Değişimlerinin Değerlendirilmesi, 13. Ulusal Kültür Teknik Kongresi, 12 Nisan, Antalya
- Çoban, U., Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Tunca, E., Ekiz, N. M. 2016. Ayçiçeği Ve Mısırdaki Yaprak Alan İndeksinin Konumsal ve Zamansal Değişimlerinin Landsat 8 Uydu Görüntüleri Kullanılarak İzlenme Olanakları , 13. Ulusal Kültür Teknik Kongresi , 12 Nisan, Antalya
- Köksal, E.S., Cemek, B., **Cetin, S.**, Gowda, P.H., Howell, T.A. 2017. Estimating missing hourly climatic data using artificial neural network for energy balance based ET mapping applications. *Meteorological Applications*, 24 (3): 457-465. DOI: 10.1002/met.1644
- Çetin, S.**, Köksal, E.S. Tunca, E. 2017. Enerji dengesine dayalı evapotranspirasyon haritalamada içsel kalibrasyon için temel hücrelerin görüntü filtreleme yaklaşımı ile seçilmesi. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*. Cilt: 32, Sayı: 3, 330-339
- Çetin, S.**, Köksal, E.S. 2018. Potential use of remote sensing techniques in evapotranspiration estimations at watershed level. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190:10, 601. doi:s10661-018-6955-1
- Çetin, S.**, Köksal, E.S., Tunca, E., 2018. TRMM ve GPM Uydu Verilerinden Belirlenen Yağış Haritalarının Su Bütçesi Hesaplamalarında Kullanılma Olanakları, SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, I. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 109-118
- Tunca, E., Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Ekiz, N.M., Çoban, U., Balde, H., 2018. Ayçiçeği Spektral Özelliklerinin Yetiştirme Dönemi Boyunca Değişiminin Değerlendirilmesi. SDÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, , I. Uluslararası Tarımsal Yapılar ve Sulama Kongresi Özel Sayısı, 102-108

Tunca, E., Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Ekiz, N. M., Balde, H., 2018. Yield and Leaf Area Index Estimations for Sunflower Plants Using Unmanned Aerial Vehicle Images, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190:10, 682, doi:s10661-018-7064-x

Köksal, E. S., **Çetin, S.**, Demir, A. O., Tunca, E., Candoğan, B. N., Aslan, Ş.T.A., 2018. Bursa Karacabey Ovasında Son 25 Yılda Değişen Bitkisel Üretim Deseni ve Sulama Uygulamalarının Uzaktan Algılama ve ET Haritalama Tekniği ile Değerlendirilmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32:2, 31-43

