

TRMM ve GPM Uydu Verilerinden Belirlenen Yağış Haritalarının Su Bütçesi Hesaplamalarında Kullanılma Olanakları

Sakine ÇETİN Eyüp Selim KÖKSAL Emre TUNCA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun, Türkiye
Sorumlu yazar: sakine.cetin@omu.edu.tr

Geliş tarihi: 03/08/2018 Yayına kabul tarihi: 20/11/2018

Özet: Yağış önemli ölçüde konumsal ve zamansal değişkenliğe sahip bir parametredir. Çoğunlukla yağış ölçüm istasyonlarının bir havzadaki dağılımı hidrolojik su bütçesi çalışmalarında önemli bir eksiklik oluşturmaktadır. Son yıllarda yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde enterpolasyon yöntemlerinin ve uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı giderek artmaktadır. Ancak enterpolasyon yöntemlerinin bir havzada kullanılması için yeterli sayıda yağışölçer verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ölçüm verisinin olmadığı veya az olduğu büyük ölçekli havzalarda uydu verilerine dayalı uzaktan algılama teknolojisi oldukça yararlı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, tropikal yağış ölçüm misyonu (TRMM) ve birleştirilmiş küresel yağış ölçümü (GPM-IMERG) uydu verilerinden yağışın alansal dağılımının belirlenmesi ve bu verilerin hidrolojik çalışmalarda kullanım olanaklarının değerlendirilmesidir. Bu çalışma Kızılırmak havzasında yürütülmüştür. Bu amaçla Kızılırmak havzasında 2013 (1 Ekim 2012 – 30 Eylül 2013) ve 2015 su yılları (1 Ekim 2014 – 30 Eylül 2015) için TRMM ve GPM uydu ürünleri temin edilmiş ve yağış haritalandırılmıştır. Çalışma sonucunda, Kızılırmak havzası gibi büyük ölçekli havzalarda TRMM ve GPM yağış uydu ürünlerinin çözümleri ölçüsünde, havza su bütçesi çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında gelecekte yapılacak olan doğrulama ve kalibrasyon çalışmalarıyla, TRMM ve GPM uydu verilerinin yağışölçer verileriyle doğrulanarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yağış, GPM, TRMM, Su Bütçesi, Uzaktan Algılama.

Using Opportunities of Precipitation Maps Generated by TRMM and GPM Satellite Products for Water Budget Calculations

Abstract: Precipitation has significant spatial and temporal variability. Mostly the distribution of precipitation measuring stations in one basin is a major deficiency in water accounting studies. In recent years for determining the spatial distribution of precipitation, using of interpolation methods and remote sensing techniques are increasing. However, a sufficient number of raingauge data is needed to use interpolation methods in a basin. For this reason, in large scale basins with little or no measurement data, remote sensing technology based on satellite data can be very useful. The purpose of this study is to determine the spatial distribution of precipitation from TRMM and GPM satellite data and to evaluate the usage possibilities of these data in hydrological studies. This study was carried out in Kizilirmak Basin. For this purpose, In Kizilirmak Basin, TRMM and GPM satellite products are obtained for 2013 (October 1, 2012 - Sep 30 2013) and 2015 water years (October 1, 2014 - September 30, 2015) and precipitation maps were generated. As a result of this study, it was concluded that TRMM and GPM precipitation satellite products to the extent of resolutions, can be used in watershed water budget studies in large scale basins such as Kızılırmak basin. This study t has been evaluated that future validation and calibration studies, TRMM and GPM satellite data can be used by validating with raingauge data.

Key words: Precipitation, GPM, TRMM, Water Budged, Remote Sensing.

Giriş

Yağış hidrolojik, iklimsel ve tarımsal modeller için temel veri niteliğindedir (Guo ve ark., 2016; Yong ve ark., 2010; Li ve ark., 2012). Bir su havzasında yağışın yüksek çözünürlükte konumsal ve zamansal olarak dağılımının doğru bir şekilde ölçümü oldukça zordur. Çünkü yağış konumsal ve zamansal olarak çok fazla değişkenlik gösteren bir parametredir (Li ve ark., 2013; Guo ve ark., 2016).

Yağış miktarını belirlemek için yaygın olarak kullanılan veri kaynakları arasında yağışölçer gözlemleri, hava radarları ve uydu tabanlı yağış ürünleri bulunmaktadır (Ward ve ark., 1995; Li ve ark., 2013; Tang ve ark., 2018). Yağışı zamansal ve konumsal olarak tahmin eden uydu temelli veri kaynakları geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, birleştirilmiş küresel yağış ölçümü (GPM-IMERG) (Huffman ve ark., 2017), tropikal yağış ölçüm misyonu (TRMM), çoklu uydu yağış analizleri (TMPA) (Huffman ve ark., 2007), küresel uydu yağış haritalama (GSMaP) (Okamoto ve ark., 2005; Kubota ve ark., 2007) iklim tahmin merkezi (CPC) MORPHing Tekniği (CMORPH) (Joyce ve ark., 2004) ve yapay sinir ağları kullanılarak uzaktan algılanmış bilgilerden yağış tahminidir (PERSIANN) (Sorooshian ve ark., 2000; Hong ve ark., 2004). Yağışın konumsal ve zamansal olarak haritalanmasına olanak sağlayan bu veriler, hidrolojik çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Jiang ve ark., 2010; Hu ve ark., 2013; Yang ve ark., 2017; Li ve ark., 2018).

TRMM ve GPM uyduları Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) ve Japon Havacılık ve Uzay Araştırmaları Ajansı (JAXA) işbirliği ile yağışın konumsal ve zamansal dağılımının belirlenmesi amacıyla tasarlanmıştır. 1997 yılı Kasım ayı sonunda faaliyete giren TRMM uydusu yaklaşık 17 yıllık bir süreçte yağış verileri üretmiştir. GPM uydusunun planlanmasına ise 2009 yılında başlanmıştır. GPM uydusu 2014 yılı Şubat ayında faaliyete girmiştir ve hala veri almaya devam etmektedir (Anonymous, 2018a).

Hidrolojik model ve su bütçesi gibi birçok havza çalışmasında girdi olarak

kullanılan uydu temelli yağış verilerinin bu çalışmalarda güvenilir olarak kullanılması için doğrulanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür uydu temelli yağış verilerini doğrulamak, belirsizliklerini gidermek ve hatalarını tespit etmek amacıyla yağışölçer verileri kullanılmaktadır (Tang ve ark., 2016, 2018).

Güneybatı Afrika'daki Okavango nehri havzasında yapılan bir çalışmada yağış-akış modellemesinde yağış ölçer verileri ve uydu verileri karşılaştırılmıştır (Wilk ve ark., 2006). Tapajós nehir havzasında yürütülen bir araştırmada TRMM uydusunun yağış tahminleri değerlendirilmiştir. Hidrolojik bir modele girdi olarak kullanılan günlük TRMM uydusu yağış verileri yağışölçer verileri ile karşılaştırılmıştır (Collischonn ve ark., 2008). Ucayali havzasında bulunan iki alt havzada (Urubamba ve Tambo) yağışölçer verileri ile TRMM 3B43 uydu ürünü aylık olarak karşılaştırılmıştır (Casimiro ve ark., 2009). Çin'de Laohahe havzasında yapılan bir çalışmada 2 çeşit TRMM ürünü değerlendirilmiştir. TRMM yağış tahminleri yağış ölçer verileriyle karşılaştırılmış ve VIC - 3L modelinde girdi olarak kullanılmıştır (Yong ve ark., 2010). Çin'de Xinjiang havzasında, su bütçesi analizleri ve hidrolojik süreçlerin simülasyonunda TRMM uydu verileri kullanılmış ve yağışölçer verileri ile karşılaştırılmıştır (Li ve ark., 2012). Ganjiang nehir havzasında yapılan bir çalışma 6 farklı yağış ürününü havzada bulunan yağışölçer verileri ile değerlendirmeyi kapsamaktadır (Hu ve ark., 2014). Güney Çin'de Ganjiang nehir havzasında yapılan diğer bir çalışmada TRMM 3B42V7, 3B42RT ve GPM-IMERG verileri yağışölçer verileriyle karşılaştırılmıştır (Tang ve ark., 2016). Güney Çin'de Ganjiang Nehri havzasında yürütülen bir araştırmada, yağışölçer verilerini kullanarak GPM-IMERG değerlendirmek ve yağış ölçer verilerinin hatalarını belirlemek amaçlanmıştır (Tang ve ark., 2018). Çalışmalarda genel olarak yağış uydu verilerinin kabul edilebilir düzeyde performans gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca yağış verilerinin tahmin hatalarına ek olarak, karşılaştırma sırasında kullanılan yağış ölçer verilerinin hataları da

uydu verileri ile yağış ölçer verileri arasındaki farkın açılmasına neden olmaktadır. Bu fark iki uydu verisi arasındaki zaman dilimi (örneğin saatlikten yıllığa doğru) arttıkça azalmaktadır (Peleg ve ark., 2013; Tang ve ark., 2018).

Bu çalışma kapsamında Kızılırmak havzasında yağışın alansal dağılımını belirlemek amacıyla 2013 (1 Ekim 2012 – 30 Eylül 2013) ve 2015 (1 Ekim 2014 – 30 Eylül 2015) su yılları için TRMM ve GPM uydu ürünleri temin edilmiş ve yağış aylık ve yıllık olarak haritalandırılmıştır. Elde edilen haritaların havza su bütçesi gibi hidrolojik çalışmalarda kullanım olanakları değerlendirilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışma Alanı

Çalışma Kızılırmak Havzası için yürütülmüştür. Çalışma alanının coğrafik konumu Şekil 1’de verilmiştir. Kızılırmak, 1.151,0 km’lik uzunluğu ile Türkiye akarsularının en uzunudur ve 78.180,0 km²’lik bir sahanın sularını Karadeniz’e boşaltmaktadır. Fırat’tan sonra Türkiye’nin ikinci büyük havzası olan Kızılırmak havzası, İç Anadolu’nun doğu bölümünde yer almaktadır. Kırşehir ve Kırıkkale illerinin bütünü; Sivas, Kayseri, Yozgat, Nevşehir, Kastamonu, Çankırı illerinin il merkezleri ve büyük bir kısmı; Niğde, Ankara, Çorum, Sinop, Aksaray ve Samsun illerinin önemli bir kısmı havza içinde kalmaktadır. Kızılırmak havzasının yıllık

ortalama yağışı 446 mm ve nehrin yıllık ortalama akışı ise 164,15 m³/s dir (Anonymous, 2018b).

Sayısal Yükseklik Modeli Verileri

Çalışmanın bu aşamasında Kızılırmak havza sınırlarının belirlenmesi amacıyla çalışma alanını kapsayan toplam 26 adet ASTER GDEM sayısal yükseklik modeli (SYM) haritası temin edilmiştir (Anonymous, 2018c).

Japonya Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Odası Bakanlığı (METI) ve Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) 17 Ekim 2011 tarihinde ortaklaşa olarak Sayısal Yükseklik Modeli Versiyon 2’yi (GDEM V2) geliştirmişlerdir. ASTER GDEM V2 30 m’lik konumsal çözünürlüğü, gridli yapısı ve geotif biçimi ile dünya çapında kullanıcılar tarafından ücretsiz olarak temin edilmektedir (Anonymous, 2018d).

Çalışmada kullanılan uydu verileri

Çalışma kapsamında TRMM (3B43 ürünü) ve GPM (GPM-IMERGv05 ürünü) olmak üzere 2 çeşit yağış uydu ürünü kullanılmıştır. TRMM ve GPM verileri çalışma alanı ve ilgili zaman aralığı seçilerek ASCII, HDF, NetCDF formatında temin edilebilmektedir. Bu çalışmada TRMM ve GPM uydu ürünleri sırasıyla 2013 (1 Ekim 2012-30 Eylül 2013) ve 2015 (1 Ekim 2014-30 Eylül 2015) su yılları için, aylık olarak mm/saat biriminde NetCDF formatında kayıt edilmiştir (Anonymous, 2018e,f).



Şekil 1. Kızılırmak havzasının coğrafik konumu
Figure 1. Geographical location of Kızılırmak basin

TRMM uydusunun konumsal ve zamansal çözünürlüğü sırasıyla 0,25° ve 3 saattir. Yağış Radarı (PR), TRMM Mikrodalga Görüntüleme Cihazı (TMI) ve Görünür bölge ve Kızılötesi Bölge Radyometreleri (VIRS) TRMM uydusunun ana yağış sensörlerini oluşturmaktadır (Anonymous 2018g).

GPM uydusunun konumsal ve zamansal çözünürlüğü sırasıyla 0,1° ve 30 dakikadır. GPM’de bulunan aktif ve pasif sensörlerin tasarımları TRMM uydusundan daha farklıdır. GPM Ku/Ka banda sahip çift frekanslı yağış radarı (DPR) ve çok kanallı bir mikrodalga görüntüleme (GMI) aracını üzerinde taşımaktadır (Anonymous, 2018h; Tan ve Duan, 2017).

Yöntem

Kızılırmak Havza Sınırlarının Sayısal Yükseklik Modeli İl Oluşturulması

Çalışma için temin edilen 26 adet SYM verisi ilk önce ARC GIS yazılımı kullanılarak çalışma alanını kapsayacak şekilde birleştirilmiştir. Birleştirilmiş SYM haritasındaki boşluklar yazılım aracılığıyla doldurulmuştur. Ardından akım yönü ve akım kaynağı belirlenmiştir. Son aşamada ise havza çıkış noktası işaretlenerek akımın

meydana geldiği havza sınırları belirlenmiştir (Güreşçi ve ark., 2012; Yılmaz ve ark., 2015).

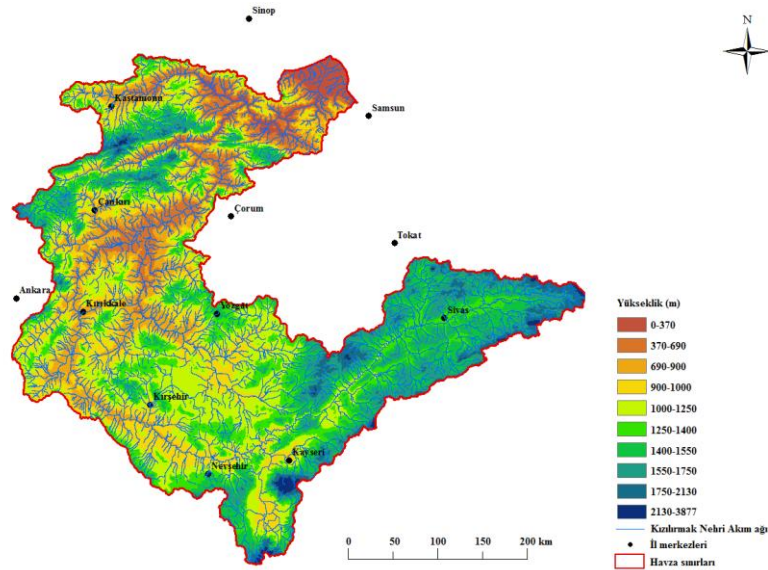
Uydu Verilerinin Temini ve Haritalandırılması

Bu çalışmada aylık olarak mm/saat biriminde NetCDF formatında temin edilen TRMM ve GPM uydu verilerinin her bir hücresi (pikseli) ARC GIS bilgisayar yazılımı aracılığıyla aylık toplam yağışa dönüştürülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında aylık toplam yağış verileri kullanılarak 2013 ve 2015 su yılları için yıllık toplam yağış hesaplanmıştır. Ardından aylık ve yıllık yağış haritaları Kızılırmak havzası sınırları kullanılarak kesilmiştir.

Bulgular

Sayısal Yükseklik Modeli Haritası

Çalışma alanı için elde edilen SYM haritası Şekil 2’de verilmiştir. Buna göre Kızılırmak havzasında deniz seviyesinden yüksekliğinin en fazla olduğu kısım Sivas ili ve çevresinin bulunduğu havzanın güney doğu bölümü iken, en az olduğu kısım ise havzanın kıyı ve orta bölümleridir.



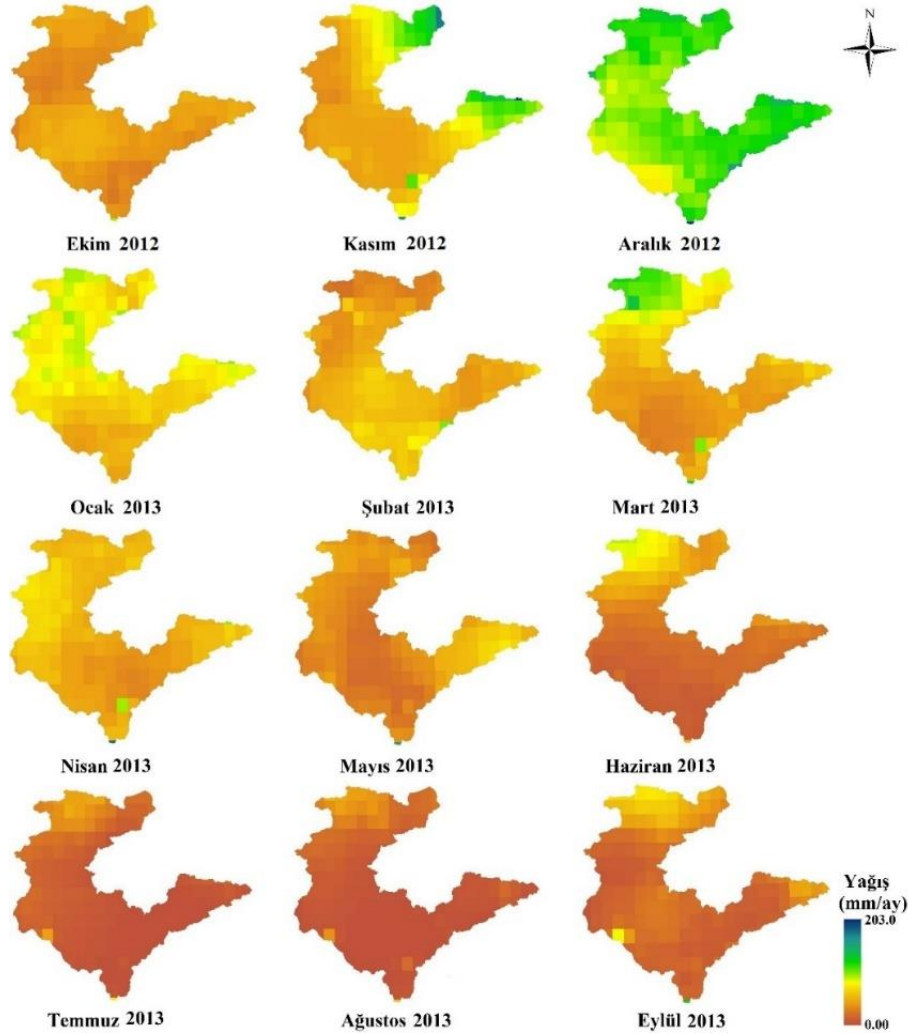
Şekil 2. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli haritası

Figure 2. Digital elevation model map of study area

Yağış Haritalamaya İlişkin Bulgular

Çalışma kapsamında Kızılırmak Havzasında 2013 su yılı için TRMM uydu verilerinden elde edilen aylık toplam yağış haritaları Şekil 3'de verilmiştir. 2013 su yılında yağış aylara göre değişkenlik göstermekle birlikte, genel olarak aylık yağış miktarları havzada 0,0 mm ile 203,0 mm değerleri arasında değişim göstermiştir. Yağış miktarı 2012 yılı Ekim ayından 2013

yılı Ocak ayına kadar artmış, 2013 yılı Ocak ayından Ağustos ayına kadar azalmış ve 2013 yılı Eylül ayına doğru ise tekrar artmıştır. Genel olarak yağışın havza içerisinde dağılımı havzanın kuzey kısımlarından güney kısımlarına doğru gidildikçe azalma göstermektedir. 2013 su yılında havza içerisindeki yağış en fazla Kasım ayında değişkenlik göstermiştir.



Şekil 3. Kızılırmak havzasında TRMM uydu verilerinden 2013 su yılı için elde edilen yağış haritaları

Figure 3. Precipitation maps obtained from TRMM satellite data for 2013 water year in Kızılırmak basin.

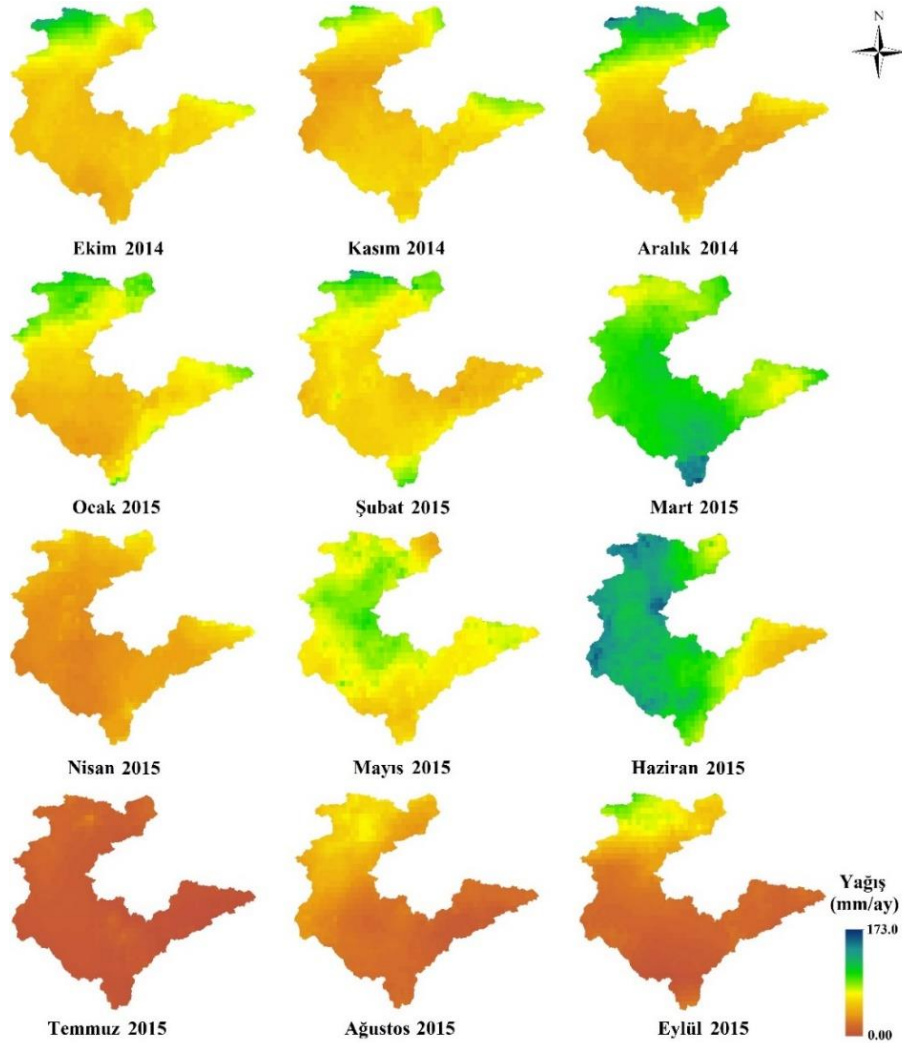
Çalışmada Kızılırmak havzasında 2015 su yılı için GPM uydu ürünlerinden elde edilen aylık yağış haritaları Şekil 4'te verilmiştir. 2015 su yılında yağış genel olarak aylık 0,0 mm ile 173 mm arasında değişim göstermektedir. Yağış 2014 yılı

Ekim, Kasım, Aralık ve 2015 yılı Ocak ve Şubat aylarında havzada benzer bir dağılım göstermiştir. 2015 yılı Mart ve Haziran aylarında ise yağışın 2015 su yılındaki diğer tüm aylara oranla daha yüksektir. Kızılırmak havzasında 2015 su yılında en düşük aylık

yağış miktarı ise Temmuz ayında gerçekleşmiştir.

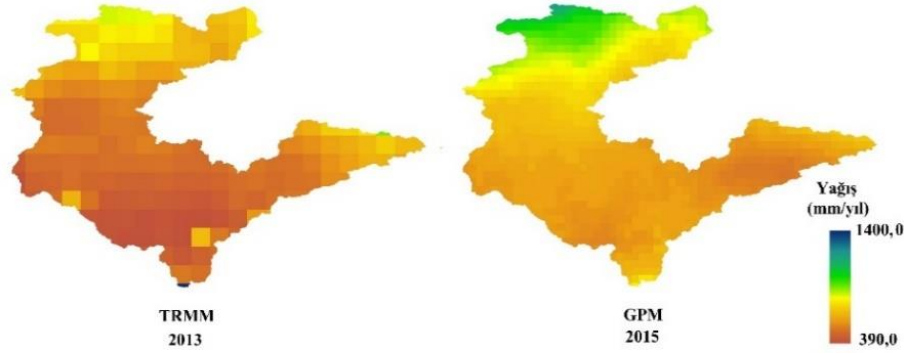
Çalışmada Kızılırmak Havzasında TRMM ve GPM uydu verilerinden 2013 ve 2015 su yılları için elde edilen yıllık toplam yağış haritaları Şekil 5’de verilmiştir. TRMM uydu verilerinden 2013 su yılı için elde edilen yağış haritalarına göre, yıllık toplam yağış değerlerinin 2013 su yılında 395,8 mm ile 1398,0 mm arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir. GPM uydu verilerinden elde edilen yıllık toplam yağış

değerleri ise 2015 su yılında 510,7 mm ile 1163,3 mm arasında değişim göstermiştir. Hem 2013 hem de 2015 su yıllarında yıllık toplam yağış değerlerinin havzanın kuzey kısımlarında olan Kastamonu, Sinop ve Samsun illeri ve çevrelerinde, havzanın diğer bölgelerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte genel olarak 2015 su yılında en düşük yağış 2013 su yılına göre daha yüksek iken en yüksek yağış değeri 2013 su yılında daha yüksektir.



Şekil 4. Kızılırmak Havzasında GPM uydu verilerinden 2015 su yılı için elde edilen yağış haritaları

Figure 4. Precipitation maps obtained from GPM satellite data for 2015 water year in Kizilirmak basin.



Şekil 5. Kızılırmak Havzasında TRMM ve GPM uydu verilerinden 2013 ve 2015 su yılları için elde edilen yıllık toplam yağış haritaları

Figure 5. Annual Cumulative Precipitation maps obtained from TRMM and GPM satellite data for 2015 water years in Kızılırmak basin

Sonuç ve Tartışma

Yağış geleneksel yöntemlerle noktasal olarak yağış istasyonlarında kurulu olan yağışölçerler yardımıyla ölçülebilir (Ward ve ark., 1995; Apan, 2009). Bu istasyonlardan temin edilen yağış verileri tüm dünyada sıklıkla kullanılmakla birlikte birtakım kısıtları bulunmaktadır. İstasyon verileri noktasal veri sağlamaktadır. Büyük ve engebeli alanlarda yeterli sayıda istasyon bulunmamaktadır. Bu da büyük ölçekli havza düzeyinde, yağışın dağılımının doğru bir şekilde tespit edilmesini kısıtlamaktadır (Gourley and Vieux, 2006; Jiang ve ark., 2010; Kurtzman ve ark., 2009).

Havza çalışmalarında yağış ölçer verilerine dayalı yağışın alansal dağılımının belirlenmesi amacıyla çeşitli enterpolasyon ve jeostatistik yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak bu tekniklerin uygulanması havzada istasyon sayısının sınırlı sayıda olması ve havzanın değişken konumsal özelliklerinin dikkate alınmaması gibi nedenlerle çeşitli kısıtları vardır. Çoğu zaman yağış dağılımının belirlenmesinde yağış ölçerlerin sayısını arttırmak hem pratik hem de ekonomik olarak uygun olmamaktadır (Li ve ark., 2012). Günümüzde yağış ölçüm yöntemlerine alternatif olarak yağış tahmini sağlayan uzaktan algılama teknikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle yağış istasyonlarının az olduğu büyük ölçekli havza çalışmalarında, uzaktan algılama teknikleri son gelişmelerle birlikte yağış girdisinin belirsizliğini ortadan kaldırma

potansiyeline sahiptir (He ve ark., 2011; Li ve ark., 2012).

Bu çalışma kapsamında Kızılırmak havzasında TRMM ve GPM yağış ürünleri kullanılarak 2013 ve 2015 su yılları için yağış aylık ve yıllık olarak haritalandırılmıştır. TRMM uydusunun konumsal çözünürlüğü 0,25° (yaklaşık 27,8 km) ve GPM uydusunun konumsal çözünürlüğü 0,1°'dir (yaklaşık 11,1 km). Daha önceden yukarıda belirtildiği gibi, Kızılırmak havzası 78.180,0 km²'lik bir alana sahiptir. Bu çalışmada 27,8 km ve 11,1 km olan uydu görüntüsü konumsal çözünürlüklerinin büyük havza olarak nitelendirilebilecek Kızılırmak havzasındaki yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Buna göre Kızılırmak havzası gibi büyük havzalarda yağışın alansal dağılımının belirlenmesinde yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Kızılırmak havzası gibi büyük ölçekli havzaların alt havzalarında ve küçük ölçekli havzalarda bu yağış verilerinin kullanılmasında çözünürlükten dolayı kısıtlar bulunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında aylık yağış ürünleri kullanılmıştır. TRMM ve GPM uydusu daha kısa zaman aralığında da veriler (TRMM 3 saat ve GPM 30 dakika) sunmaktadır. Fakat daha önceden yağışölçer verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda ardışık iki uydu verisi arasındaki zaman dilimi (örneğin saatlikten yıllığa doğru) arttıkça yağış ölçer ve uydu verileri arasındaki farkın da azaldığı belirtilmektedir (Peleg ve ark., 2013; Tang ve ark., 2018).

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılan aylık ve yıllık yağış ürünlerinin büyük ölçekli su havzalarında uydu verisinin konumsal ve zamansal çözünürlüğü ölçüsünde kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Gelecekte, Türkiye’de TRMM ve GPM uydu ürünlerinin yağışölçer verileri kullanılarak doğrulanması ve doğrulanan uydu ürünlerinin su bütçesi ve hidrolojik model çalışmalarında kullanılması konularında yeni çalışmalar yapılması havza düzeyinde su bütçesi çalışmalarına önemli katkılar sağlayabilecektir.

Kaynaklar

- Anonymous, 2018a.
https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/overview/index.html
- Anonymous, 2018b.
http://www.suyonetimi.gov.tr/Files/HavzaKazimiroMaeylemlanraporlari/K%C4%B1z%C4%B1%C4%B1mak_Havzas%C4%B1.pdf
- Anonymous, 2018c.
<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- Anonymous, 2018d
<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- Anonymous, 2018e.
https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B43_7/summary
- Anonymous, 2018f.
https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGM_V05/summary
- Anonymous, 2018g.
<http://mirador.gsfc.nasa.gov>
- Anonymous, 2018h.
<http://pmm.nasa.gov/GPM>
- Apan, M., 2009. Hidroloji Ders Kitabı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, No:52.
- Casimiro, W. S. L., Labat, D., Guyot, J. L., Ronchail, J., ve Ordonez, J. 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).
- Collischonn, B., Collischonn, W., Tucci, C. E. M., 2008. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology* 360: 207–216.
- Gourley, J.J., Vieux, B.E., 2006. A method for identifying sources of model uncertainty in rainfall-runoff simulations. *Journal of Hydrology* 327 (1–2), 68–80.
- Guo, H., Chen, S., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F. 2016. Early assessment of Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement over China. *Atmospheric Research* 176–177 (2016) 121–133.
- Güreşçi, N. G., Seyrek, K. ve Sargın, A. H. 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Hidroloji Uygulamaları, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknoloji Dairesi Başkanlığı, CBS Şube Müdürlüğü.
- He, X., Vejen, F., Stisen, S., Sonnenborg, T.O., Jensen, K.H., 2011. An operational weather radar-based quantitative precipitation estimation and its application in catchment water resources modeling. *Vadose Zone Journal* 10 (1), 8–24.
- Hong, Y., Hsu, K.L., Sorooshian, S., Gao, X.G., 2004. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an Artificial Neural Network Cloud Classification System. *J. Appl. Meteorol.* 43, 1834–1852.
- Hu, Q., Yang, D., Li, Z., Mishra, A. K., Wang, Y., ve Yang, H. 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.
- Hu, Q., Yang, D., Wang, Y., Yang, H., 2013. Accuracy and spatio-temporal variation of high resolution satellite rainfall estimate over the Ganjiang River Basin. *Sci. China Technol. Sci.* 56, 853–865.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Braithwaite, D., Hsu, K., Joyce, R., Xie, P., ve Yoo, S. H. 2017. NASA Global

- Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), NASA/GSFC, Greenbelt, MD, USA https://pmm.nasa.gov/sites/default/files/document_files/IMERG_ATBD_V5.1b.pdf
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., ... ve Stocker, E. F. 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, 8(1): 38-55.
- Jiang, S., Ren, L., Yong, B., Yang, X., Shi, L., 2010. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products with surface rain gauge observations from Laohahe Basin in northern China. *Water Science and Engineering*, 3(4): 405-417.
- Joyce, R.J., Janowiak, J.E., Arkin, P.A., 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.
- Kubota, T., Shige, S., Hashizume, H., Ushio, T., Aonashi, K., Kachi, M., ve Okamoto, K. I. 2007. Global precipitation map using satellite-borne microwave radiometers by the GSMaP project: production and validation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 45, 2259–2275.
- Kurtzman, D., Navon, S., Morin, E., 2009. Improving interpolation of Daily precipitation for hydrologic modelling: spatial patterns of preferred interpolators. *Hydrological Processes* 23, 3281–3291.
- Li, D., Christakos, G., Ding, X., Wu, J., 2018. Adequacy of TRMM satellite rainfall data in driving the SWAT modeling of Tiaoxi catchment (Taihu lake basin, China), *Journal of Hydrology* 556: 1139–1152.
- Li, X., Zhang, Q., Xu, C., 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* 426–427: 28–38.
- Li, Z., Yang, D.W., Hong, Y., 2013. Multi-scale evaluation of high-resolution multi-sensor blended global precipitation products over the Yangtze River. *J. Hydrol.* 500, 157–169.
- Okamoto, K., Ushio, T., Iguchi, T., Takahashi, N., Iwanami, K., 2005. The global satellite mapping of precipitation (GSMaP) project. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2005. IGARSS '05. Proceedings 2005 IEEE International, pp. 3414–3416.
- Peleg, N., Ben-Asher, M., ve Morin, E. 2013. Radar subpixel-scale rainfall variability and uncertainty: lessons learned from observations of a dense rain-gauge network. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(6), 2195.
- Sorooshian, S., Hsu, K. L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B., ve Braithwaite, D. 2000. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81 (9), 2035–2046.
- Tan, M. L. Duan, Z., 2017. Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore. *Remote Sens.* 9(7), 720.
- Tang, G., Behrangi, A., Long, D., Li, C., ve Hong, Y. 2018. Accounting for spatiotemporal errors of gauges: A critical step to evaluate gridded precipitation products. *Journal of Hydrology*, 559, 294-306.
- Tang, G., Zeng, Z., Long, D., Guo, X., Yong, B., Zhang, W., ve 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.
- Ward, A. D., Elliot, W. J. E. 1995. *Environmental Hydrology*. Boca Raton. New York.

- 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. *J. Hydrol.* 331, 18–29.
- Yang, N., Zhang, K., Hong, Y., Zhao, Q., Huang, Q., Xu, Y., Xue, X., Chen, S., 2017. Evaluation of the TRMM multisatellite precipitation analysis and its applicability in supporting reservoir operation and water resources management in Hanjiang basin, China. *Journal of Hydrology* 549: 313–325.
- Yılmaz, M. U., Özgür, E., Yeğen, E. B. 2015. Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi. VII. Uluslar arası Katılımlı Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 28-30.
- Yong, B., Chen, B., Gourley, J.J., Ren, L., Hong, Y., Chen, X., Wang, W., Chen, S., Gong, L., 2014. Intercomparison of the Version-6 and Version-7 TMPA precipitation products over high and low latitudes basins with independent gauge networks: is the newer version better in both real-time and post-real-time analysis for water resources and hydrologic ext. *J. Hydrol.* 508, 77–87.
- Yong, B., Ren, L. L., Hong, Y., Wang, J. H., Gourley, J. J., Jiang, S. H., ... ve Wang, W. 2010. Hydrologic evaluation of Multisatellite Precipitation Analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: a case study in Laohahe basin, China. *Water Resour. Res.* 46 (7).