



## PPP VE RADYOSONDA'DAN ELDE EDİLEN YOĞUŞABİLİR SU BUHARI (PWV) DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

<sup>1</sup>Sema Nur AĞAÇ , <sup>2</sup>Salih ALÇAY 

<sup>1</sup>Türk Telekom Genel Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

<sup>1</sup>semaa.nuragac@gmail.com, <sup>2</sup>salcay@erbakan.edu.tr

Geliş/Received: 30.06.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 12.08.2022

**ÖZ:** Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) jeodezik ölçmeler, araç takip sistemleri, turizm, tarım, askeri, deformasyon ölçmeleri ve arama kurtarma çalışmaları gibi birçok farklı alana hizmet vermektedir. GNSS teknolojileri ayrıca güneş aktiviteleri, iyonosfer ve troposferin incelenmesine de olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) yöntemi ile elde edilen troposferik gecikmelerden yararlanarak Yoğuşabilir Su Buharı (PWV:Precipitable Water Vapor) miktarının belirlenmesi ve elde edilen bu değerlerin günümüzde referans olarak kabul gören radyosondadan elde edilen PWV değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma kapsamında Türkiye’de bulunan Samsun, Erzurum, İstanbul ve İzmir radyosonda istasyonları ve yakın konumlarında bulunan SAM1, ERZR, ISTN ve IZMI CORS-TR istasyonlarının 2016-2020 yıllarına ait verileri kullanılmıştır. GNSS verilerinin değerlendirilmesinde CSRS-PPP servisinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde iki yöntemle elde edilen PWV değerlerinin uyum içerisinde olduğu ve çoğunlukla benzer trend gösterdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** PPP, Yoğuşabilir Su Buharı (PWV), Radyosonda

### Comparison of Precipitable Water Vapor (PWV) Values Obtained From PPP And Radiosonde

**ABSTRACT:** Global Navigation Satellite Systems (GNSS) serve many different fields such as geodetic measurements, vehicle tracking systems, tourism, agriculture, military, deformation measurements and search and rescue studies. GNSS technologies also allow the study of solar activities, ionosphere and troposphere. In this study, the amount of Precipitable Water Vapor (PWV) was determined by using the tropospheric delays obtained by the Precise Point Positioning (PPP) method and these values were compared with the PWV values obtained from the radiosonde, which is accepted as a reference today. Within the scope of the study, the data of Samsun, Erzurum, Istanbul and Izmir radiosonde stations in Turkey and SAM1, ERZR, ISTN and IZMI CORS-TR stations in their nearby locations for the years 2016-2020 were used. CSRS-PPP service was used to process GNSS data. When the results obtained were examined, it was seen that the PWV values obtained by the two methods were in harmony and mostly showed a similar trend.

**Keywords:** PPP, Precipitable Water Vapor (PWV), Radiosonde

### GİRİŞ (INTRODUCTION)

GNSS ölçümlerinden türetilen troposferik gecikme, su buharı içeriğinin değişimini izlemek için önemli bir veri kaynağıdır. Doğru hava tahmini ve küresel iklim modelleri geliştirmek için su buharını mümkün olduğunca doğru bir şekilde belirlemek önemlidir. Meteorologlar tarafından, atmosferik su

buharı miktarını ifade etmek için en yaygın kullanılan terimlerden biri yoğuşabilir su buharıdır (Li ve diğ., 2003).

Su buharı, atmosferik olayların incelenmesinde anahtar parametrelerden biri olup küresel/bölgesel hava ve iklim değişikliklerinde önemli bir rol oynamaktadır. Şiddetli yağışlar, kuraklıklar, tayfunlar ve fırtınalar gibi birçok aşırı hava olayı, su buharındaki hızlı değişimlerle ilgilidir. Islak Zenit Gecikmesini (ZWD) doğru bir şekilde modellemek, hava durumu tahmini için çok önemlidir. Hava tahminlerinin ve hidrolojik izlemenin doğruluğunu belirlemek için önde gelen parametrelerden biri olan yoğuşabilir su buharı atmosferik nem içeriğinin değerlendirilmesinde etkindir.

Tunalı (2018), Gerçek Zaman Servisi (RTS) aracılığıyla sağlanan uydu yörünge ve saat düzeltmelerini kullanan Gerçek Zamanlı Hassas Nokta Konum Belirleme (RT-PPP) oturumlarının, atmosferdeki su buharı hareketlerini izlemek için yeterli hassasiyette sahip olup olmadığını belirlemek amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. 5 Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonuna ait gözlemler ve IGS RTS düzeltmeleri kullanılarak ZWD değerleri gerçek zamanlı kestirilmiştir. Sonuçlar radyosonda verileri ile karşılaştırılmıştır. RT PPP oturumlarından ECMWF/VMF1 kullanılarak elde edilen sonuçlar ile radyosonda farklarının  $\pm 2$  mm (Karesel Ortalama Hata (KOH): 3.30 mm) aralığında değiştiği ve tüm çözümler için radyosonda ile olan farkların 4 mm'den küçük olduğu görülmüştür. Gürbüz ve diğ. (2021), GPS/GLONASS gözlemlerinden elde edilen ZWD/PWV sonuçlarını radyosonda ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre GPS ZWD'nin GLONASS ZWD ile uyumlu olduğu, ZWD farklarına ait KOH'nun 4.1–11.84 mm ve PWV'de ise 0.6–1.78 mm olduğu görülmüştür. Gratton ve diğ. (2021), dağlık alanlarda kinematik modda Zenit Troposferik Gecikme (ZTD) değerlerini belirlemek için GNSS-PPP yöntemini kullanmışlardır. GNSS-PPP'den türetilen ZWD ve VMF1 profilleri arasındaki KOH farkları, statik baz durumu için 4 mm ve analiz edilen iki kinematik profil için ise 9 ve 16 mm olarak belirlenmiştir. Mekik ve Deniz (2017), çalışmalarında 2011 yılı için Türkiye'deki 8 radyosonda istasyonunun verilerini kullanarak doğrusal bir  $T_m-T_s$  modeli oluşturmayı ve bu modeli kullanarak İstanbul ve Ankara radyosonda istasyonlarıyla aynı yerde bulunan iki GNSS istasyonunun PWV'sini tahmin etmeyi amaçlamıştır. Geliştirilen  $T_m$  modelinden 2013 ve 2014 yıllarında Ankara ve İstanbul istasyonlarındaki GNSS gözlemlerinden elde edilen PWV'nin doğrulukları sırasıyla  $\pm 1.7$  ve  $\pm 1.8$  mm olarak belirlenmiştir. Gürbüz ve Jin (2017) ise PVW'nin uzun süreli değişimini ve trendini incelemişlerdir. Bu amaçla GPS, MODIS ve Radyosonda verilerini kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre Radyosonda PWV ile GPS-PWV farklarına ilişkin KOH'ların 1–3 mm ve MODIS PWV ile GPS PWV farklarına ilişkin KOH'ların ise 3–7 mm olduğu belirlenmiştir. Zhao ve diğ. (2018), IGS tarafından sağlanan gerçek zamanlı, yörünge ve saat ürünlerini kullanarak bağımsız olarak geliştirilen PPP yazılımına dayalı GPS ZTD değerinin doğruluğunu değerlendirmişlerdir. Çalışmada GPS' den türetilen ZTD değerleri, GAMIT, Bernese-PPP yazılımı ve VLBI'dan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklara ilişkin KOH'ların 8 mm'nin altında olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada ise PPP yöntemi ile elde edilen ZWD değerlerinden türetilen PWV değerlerinin doğruluğu test edilmiştir. Bu amaçla PPP yönteminden elde edilen PWV değerleri ile Radyosonda' dan elde edilen PWV değerleri karşılaştırmalı bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### CSRS-PPP ile ZWD Değerlerinin Elde Edilmesi (Obtaining ZWD Values with CSRS-PPP)

NRCan (Natural Resources Canada) kuruluşunun sağladığı internet tabanlı GNSS değerlendirme servisi olan CSRS-PPP tek veya çift frekanslı alıcılarda toplanmış GPS/GLONASS gözlem verilerini değerlendirmektedir. Yazılımda statik ve kinematik seçenekleri olmakla birlikte NAD83 veya ITRF referansı seçenekleri de kullanıcıya sunulmaktadır. Sistem günümüzde yapılan akademik çalışmalarda sıkça kullanılan CSRS-PPP servisi 1 Hz ve daha yüksek frekanslı çözüme olanak sağlamaktadır. Uydu yörünge ve saat ürünleri dosyanın CSRS-PPP servisine yüklendiği zamana ve RINEX dosyasındaki en son toplanan epok zamanına göre belirlenmektedir. Ayrıca 2018 yılından itibaren faz başlangıç belirsizliğinin kesirli bir sayı olarak kestirilmesinden, PPP-AR algoritmasına geçiş yapılmıştır. Bu durum faz başlangıç

belirsizliğinin tam sayı olarak kestirilmesine olanak sağlamıştır. PPP-AR algoritması, RINEX v3 veri formatını desteklemekte olup, kod ve faz ölçüleri için geliştirilen tek frekanslı konum bilgisini de elde etmektedir (Bezcioğlu ve diğ., 2019). CSRS-PPP servisi VMF1 fonksiyonunu kullanarak ZHD'yi belirlemektedir. Ayrıca CSRS-PPP VMF1 fonksiyonunu ZWD için bir ön bilgi olarak kullanmaktadır (Gratton ve diğ., 2021).

RINEX formatındaki gözlem verileri yazılıma gönderildikten sonra yazılım tarafından kullanıcının mail adresine gelen dosya içerisinde .sum, .pos, .csv, .tro, .clk ve .pdf uzantılı çözüm dosyaları gönderilmektedir. .tro dosyası troposfer dosyası olup, kuru gecikme, ıslak gecikme ve troposferik gradyan verilerini içermektedir. Troposfer dosyasında bulunan TRODRY sütunu kuru bileşeni, TROWET sütunu ise ıslak bileşeni ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında Radyosonda verilerinin elde edildiği zamanlar (00.00 ve 12.00 UTC) dikkate alınarak TROWET sütununda bu sürelerle karşılık gelen değerler dikkate alınmıştır.

### Yoğuşabilir Su Buharı (PWV) Değerinin Elde Edilmesi (Obtaining the Precipitable Water Vapor (PWV) Value)

Atmosferdeki nem oranından dolayı zamansal ve mekânsal değişim gösteren, modellenmesi zor ve atmosferik olayların oluşum ve gelişim süreçlerinin yorumlanması için önemli bir parametre olan ZWD miktarını tahmin etmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler, doğrudan yöntemler ve matematiksel modele dayalı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğrudan yöntemler arasında radyosonda, su buharı radyometrisi (WVR) ve uzaktan algılama uyduları bulunmakta olup sahip olduğu zamansal ve mekânsal değişkenlik göstermesinden dolayı doğrudan modellerde istenilen doğruluk elde edilememektedir. İkincisi ise doğrudan modellere alternatif olarak türetilen matematiksel modeller ve izdüşüm fonksiyonlarıdır (Pang ve diğ., 2021). Islak gecikme ile PWV arasındaki ilişki, Denklem (1)'de gösterildiği gibi, toplam gecikmeden hidrostatik gecikme çıkarılarak elde edilmektedir (Pang ve diğ., 2021).

$$ZWD = ZTD - ZHD \quad (1)$$

Yoğuşabilir su buharı miktarı (mm), doğrusal olarak PWV değeri ile orantılı olan ıslak zenit gecikmesi değeri temel alınan GNSS verileri ile elde edilebilmektedir (Bevis ve diğ., 1994). Denklem (2)'de  $T_m$  değeri ortalama atmosferik sıcaklık değerini ifade etmektedir (Davis ve diğ., 1985)

$$T_m = \frac{\int \frac{e}{T_1} d\delta}{\int \frac{e}{T_2} d\delta} \quad (2)$$

Çalışma kapsamında Mekik ve Deniz (2017)'de detayları verilen Türkiye için geliştirilmiş modeli ( $T_m = 48.55 + 0.80T_s$ ) ile değerlendirme işlemleri yapılmış olup, modele ilişkin parametreler dikkate alınmıştır. Bağlıtıda kullanılan  $T_m$  ağırlıklı ortalama sıcaklığı ve  $T_s$  yüzey sıcaklığını ifade etmektedir.  $T_s$  yüzey sıcaklık değerleri İstanbul, İzmir, Samsun ve Erzurum istasyonları için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Değerler her istasyon için günde iki kez olmak üzere hesaplanmıştır.

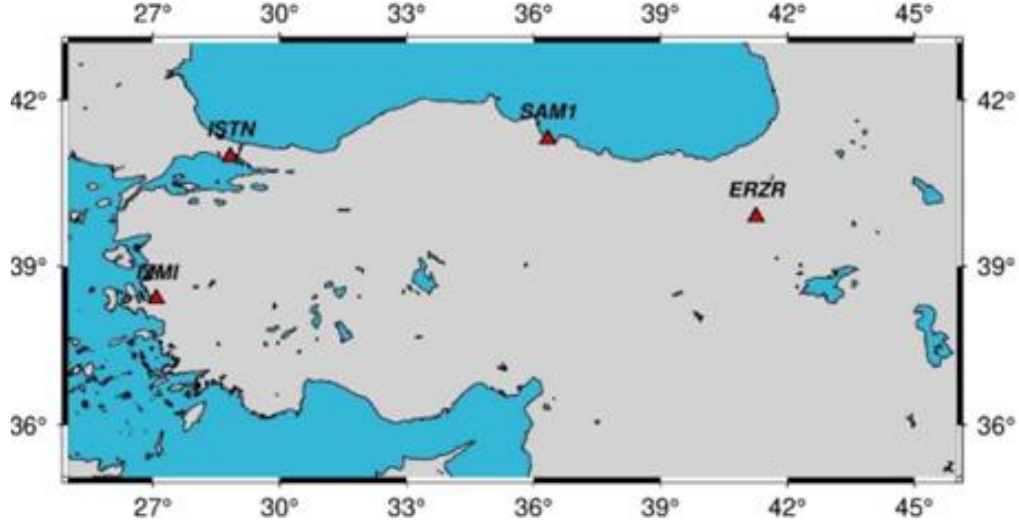
$$\pi(T_m) = [10^{-6} \left( \frac{k_3}{T_m} + k_2 \right) \rho_v R_v]^{-1} \quad (3)$$

$$PWV_{GNSS} = \pi(T_m) * ZWD_{GNSS} \quad (4)$$

Hesaplanan  $T_m$  değerleri Denklem (4)'te kullanılarak  $\pi(T_m)$  değerleri elde edilmiştir. Denklem (4)'te kullanılan  $\pi(T_m)$  ile PWV değerleri hesaplanmıştır. Denklem (3) ve (4)'te kullanılan  $\Pi$ , su buharı dönüşüm faktörünü ifade etmektedir. Denklem (3)'te kullanılan  $\rho_v$  sıvı suyun yoğunluğunu ( $1000 \text{ kgm}^{-3}$ ),  $R_v$  orijinal gaz sabitini ( $461.524 \text{ JK}^{-1}\text{kg}^{-1}$ )  $k_3 = 377 \text{ 600 K}^2\text{hPa}$  ve  $k_2 = 22.1 \text{ KhPa}^{-1}$  ifade etmektedir (Mekik ve Deniz, 2017).

### Çalışma Alanı (Study Area)

Bu çalışmada, Türkiye'de bulunan Samsun, Erzurum, İstanbul ve İzmir radyosonda istasyonları ve bu istasyonların yakın konumlarında bulunan SAM1, ERZR, ISTN ve IZMI CORS-TR istasyonları kullanılmıştır (Şekil 1). Seçilen istasyonlara ait bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan istasyonlara ait 2016-2020 yıllarındaki 24 saatlik 30 saniye kayıt aralıklı RINEX verileri temin edilmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan istasyonlar ve konumları

Figure 1. The stations and their locations used in the study

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan istasyonların enlem ve boylam değerleri

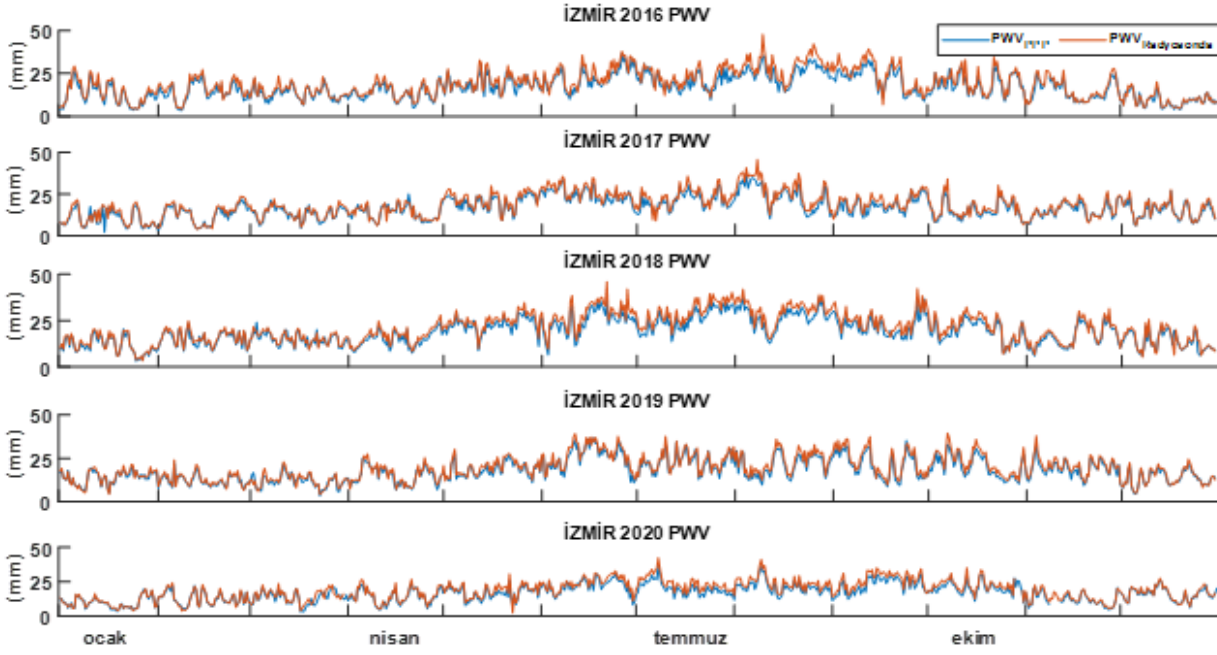
Table 1. Latitude and longitude values of the stations used in the study

	İSTASYON	ENLEM (°)	BOYLAM (°)
Radyosonda İstasyonları	İzmir (17220)	38.39	27.08
	Samsun (17030)	41.28	36.30
	İstanbul (17064)	40.91	29.16
	Erzurum (17095)	39.91	41.25
CORS-TR İstasyonları	IZMI (İzmir)	38.39	27.08
	SAM1 (Samsun)	41.31	36.33
	ISTN (İstanbul)	40.99	28.83
	ERZR (Erzurum)	39.91	41.26

### BULGULAR (RESULTS)

Çalışmada, Türkiye'de bulunan 4 radyosonda istasyonunun PWV verileri ile bu istasyonların yakın konumunda bulunan CORS-TR istasyonlarına ait gözlemler kullanılarak elde edilen PWV değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kapsamda CORS-TR istasyonlarına ait gözlem verileri CSRS-PPP yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen ZWD değerlerinden, yukarıda açıklandığı şekilde PWV değerleri kestirilmiştir. Radyosonda-PWV verileri Wyoming Üniversitesi Atmosfer Bilimleri Bölümü'ne ait web sitesinden elde edilmiştir. Böylece PPP yöntemi ile elde edilen troposferik gecikme değerlerinden türetilen PWV değerlerinin doğruluğu Radyosonda-PWV değerleri dikkate alınarak karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelenmiştir. Seçilen istasyonların 2016-2020 yılları için 00.00 UTC ve 12.00 UTC'de elde edilen PPP-PWV değerleri ve Radyosonda-PWV değerlerine ilişkin detaylar Şekil 2-5'te verilmiştir. Ayrıca farklara ilişkin mutlak minimum, mutlak maksimum, ortalama ve KOH gibi temel istatistiksel değerler

hesaplanmış olup, Çizelge 2-5'te verilmiştir.



Şekil 2. İzmir İstasyonu 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC için PPP-PWV ve Radyosonda-PWV Değerleri

Figure 2. PPP-PWV and Radiosonda-PWV values for 00.00 UTC and 12.00 UTC at for Izmir Station between 2016-2020

Şekil 2'de İzmir istasyonunun 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC'deki PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. İzmir istasyonuna ait tüm grafikler de görüldüğü gibi PWV'nin en yüksek değerlerine Haziran-Eylül döneminde ulaşılmış olup, en düşük değerlerine ise kış mevsimlerinde (Aralık-Ocak-Şubat) ulaşılmıştır. Tüm yıllardaki PPP ve Radyosondadan elde edilen PWV değerleri incelendiğinde benzer trend gösterdikleri görülmektedir. PWV değerleri öğle ve gece saatlerinde 0-50 mm arasında değişmiş olup, en yüksek değer 2018 yılı Ağustos ayında (37.47 mm), en düşük değere ise 2017 yılı Ocak ayında (2.08 mm) gözlenmiştir.

Çizelge 2. İzmir istasyonu için 2016-2020 yıllarına ait temel istatistikî değerler (mm)

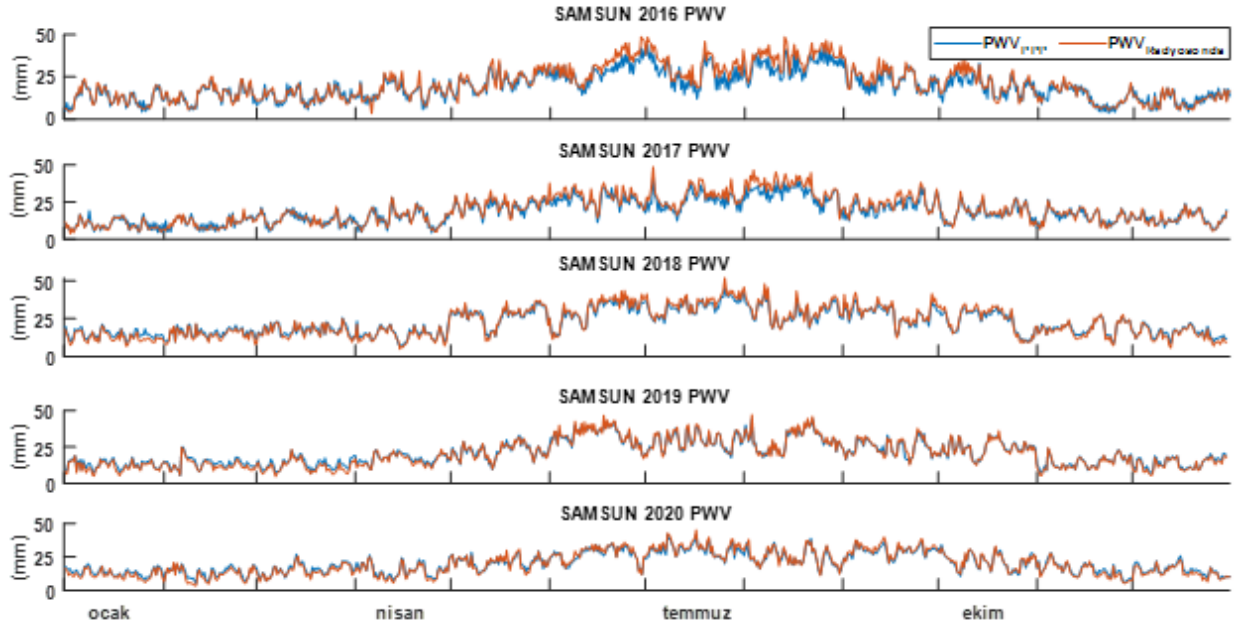
Table 2. Basic statistical values for 2016-2020 for Izmir station (mm)

İZMİR	2016	2017	2018	2019	2020
Min.	0.001	0.001	0.003	0.007	0.004
Mak.	13.196	15.682	13.457	6.968	8.194
Ort.	2.029	1.542	2.091	1.421	1.766
KOH	3.112	2.589	2.817	2.226	2.522

İzmir istasyonuna ait Çizelge 2 incelendiğinde en düşük değer 2016 ve 2017 yıllarında (0.001 mm) görüldüğü, en yüksek değer ise 2017 yılında (15.682 mm) görülmüştür. En düşük KOH değerine 2017 yılında ( $\pm 2.226$  mm), en yüksek değere ise 2016 yılında ( $\pm 3.112$  mm) ulaşılmıştır. Farklara ilişkin ortalamalar incelendiğinde ise en düşük değer 2019 yılına (1.421 mm) ait olduğu, en yüksek değer ise 2016 yılına (2.029 mm) ait olduğu görülmüştür.

Şekil 3'te Samsun istasyonunun 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC'deki PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerleri verilmiştir. Samsun istasyonuna ait tüm grafiklerde PWV'nin en yüksek değerlerinin yaz mevsimlerinde (Temmuz-Ağustos-Eylül) olduğu en düşük değerlerinin ise kış mevsimlerinde (Aralık-Ocak-Şubat) olduğu görülmüştür. En yüksek PWV değerine 2018 yılı Temmuz ayında (45.81 mm) ulaşılmış olup, en düşük değerine ise 2017 yılı Ocak ayında (4.01 mm) ulaşılmıştır. Grafikler incelendiğinde PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerlerinin 2016 yılı hariç çoğunlukla uyumlu

olduğu 2016 yılında ise yaz aylarında farkların diğer yıllara göre bir miktar fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Samsun İstasyonu 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC için PPP-PWV ve Radyosonda-PWV Değerleri

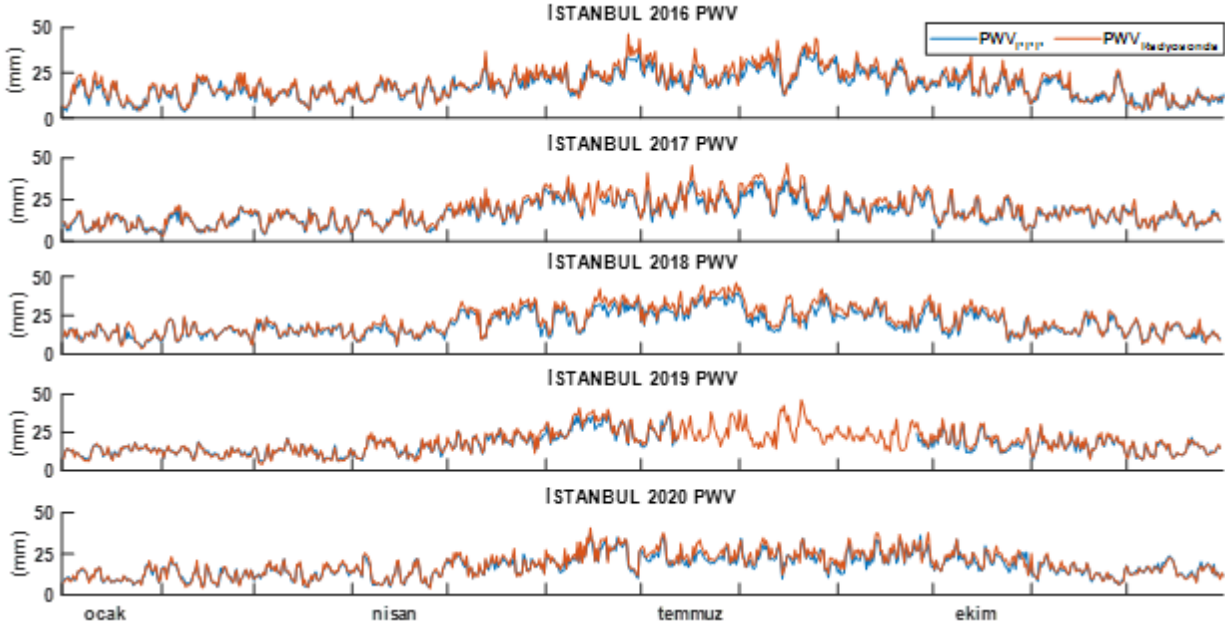
Figure 3. PPP-PWV and Radiosonda-PWV values for 00.00 UTC and 12.00 UTC at for Samsun Station between 2016-2020

Çizelge 3. Samsun istasyonu için 2016-2020 yıllarına ait temel istatistiki değerler (mm)

Table 3. Basic statistical values for 2016-2020 for Samsun station (mm)

Samsun	2016	2017	2018	2019	2020
Min.	0.001	0.002	0.001	0.009	0.001
Mak.	15.502	13.980	7.605	8.255	11.365
Ort.	1.632	1.137	0.092	-0.544	-0.294
KOH	3.827	3.206	1.986	1.765	1.886

Çizelge 3'te Samsun istasyonunun 2016-2017 yılları arasındaki PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerleri arasındaki farklara ilişkin minimum, maksimum, ortalama ve KOH değerleri verilmiştir. En düşük fark 0.001 mm ile 2016, 2018 ve 2020 yıllarında elde edilmiştir. En yüksek değer ise 15.502 mm ile 2016 yılına aittir. Farklara ilişkin ortalama değerler incelendiğinde (-0.294 ile 1.632 mm) aralığında değiştiği görülmektedir. En düşük KOH değerine 2019 yılında ( $\pm 1.765$  mm) ulaşılmış olup, en yüksek KOH değerine ise 2016 yılında ( $\pm 3.827$  mm) ulaşılmıştır.



**Şekil 4.** İstanbul İstasyonu 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC için PPP-PWV ve Radyosonda-PWV Değerleri

*Figure 4.* PPP-PWV and Radiosonda-PWV values for 00.00 UTC and 12.00 UTC at for İstanbul Station between 2016-2020

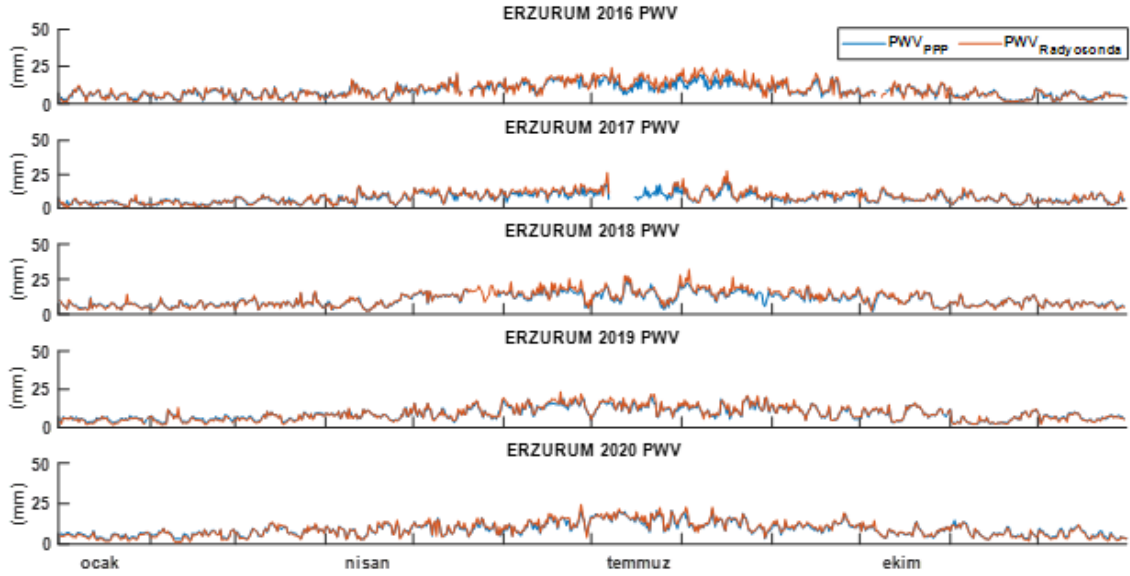
Şekil 4'te İstanbul istasyonunun 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC'deki PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerleri verilmiştir. 14 Temmuz 2019 ile ve 26 Eylül 2019 tarihleri arasında RINEX verisi olmadığından PPP-PWV değerleri hesaplanamamıştır. İstanbul istasyonuna ait tüm grafiklerde görüldüğü gibi yaz mevsimlerinde (Temmuz-Ağustos-Eylül) PWV değerlerinin kış mevsimlerine (Aralık-Ocak-Şubat) göre daha yüksek olduğu görülmüştür. İki yöntemle elde edilen PWV değerlerinin benzer trend gösterdiği söylenebilir. PWV değerleri öğle ve gece saatlerinde 0-50 mm arasında değişmiş olup, en yüksek değeri 2018 yılı Ağustos ayına (39.85 mm) en düşük değeri ise 2016 yılı Şubat ayına (3.37 mm) ait olduğu görülmüştür.

**Çizelge 4.** İstanbul istasyonu için 2016-2020 yıllarına ait temel istatistiki değerler (mm)

*Table 4.* Basic statistical values for 2016-2020 for İstanbul station (mm)

İSTANBUL	2016	2017	2018	2019	2020
Min.	0.002	0.009	0.007	0.006	0.001
Mak.	13.446	12.825	10.037	7.716	7.998
Ort.	1.607	1.376	1.936	0.686	0.957
KOH	2.936	2.653	2.954	2.008	2.191

İstanbul istasyonu için 2016-2020 yıllarına ait PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerleri arasındaki farklara ilişkin temel istatistiki değerler hesaplanıp Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde en düşük farkın 0.001 mm ile 2020 yılına ait olduğu, en yüksek farkın ise 13.446 mm ile 2016 yılına ait olduğu görülmüştür. Farklara ilişkin ortalama değerler incelendiğinde 0.686 ile 1.936 mm aralığında değiştiği görülmektedir. KOH'lar incelendiğinde ise  $\pm 2.008$  mm ile  $\pm 2.954$  mm arasında değiştiği görülmüştür.



**Şekil 5.** Erzurum İstasyonu 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC için PPP-PWV ve Radyosonda-PWV Değerleri

*Figure 5.* PPP-PWV and Radiosonda-PWV values for 00.00 UTC and 12.00 UTC at for Erzurum Station between 2016-2020

Şekil 5'te Erzurum istasyonunun 2016-2020 yıllarına ait 00.00 UTC ve 12.00 UTC'deki PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerleri verilmiştir. Erzurum istasyonuna ait tüm grafikler de görüldüğü gibi tüm yıllarda PWV'nin en yüksek değerlerine Temmuz ve Ağustos aylarında ulaşılmış olup, en düşük değerlerine ise Aralık ve Ocak aylarında ulaşılmıştır. Erzurum istasyonu konumu itibariyle karasal bir iklim yapısına sahip olduğundan su buharını etkileyen nem değerlerine denize kıyısı olan istasyonlar (İstanbul, İzmir, Samsun) kadar maruz kalmamaktadır. Bu durum PWV değerlerine etki etmekte olup öğle ve gece saatlerindeki PWV değerleri 0-30 mm arasında değişim göstermiştir. Ayrıca mevsimler arası geçişlerde (Ör: Ocak ayından Temmuz ayına) PWV değerlerinin arasındaki farkların İzmir, İstanbul ve Samsun istasyonları arasındaki farklar kadar büyük olmadığı görülmüştür. En yüksek PWV değerinin 2018 yılı Temmuz ayına (26.35 mm) en düşük değeri ise 2017 yılı Ocak ayına (0.98 mm) ait olduğu görülmüştür.

**Çizelge 5.** Erzurum istasyonu için 2016-2020 yıllarına ait temel istatistiki değerler (mm)

*Table 5.* Basic statistical values for 2016-2020 for Erzurum station (mm)

ERZURUM	2016	2017	2018	2019	2020
Min.	0.002	0.001	0.001	0.000	0.005
Mak.	9.669	9.905	11.480	6.211	8.808
Ort.	0.596	0.611	0.499	0.123	0.119
KOH	2.224	1.710	1.567	1.115	1.137

Erzurum istasyonu 2016-2020 yıllarına ait PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerleri arasındaki farklara ilişkin temel istatistiki değerler Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde en düşük farkın 0.000 mm ile 2019 yılı Aralık ayına (Bu aydaki PPP-PWV değeri 12.059 olup, aynı güne ait Radyosonda-PWV değeri 12.06'dır) ait olduğu, en yüksek fark ise 9.669 mm ile 2016 yılında görülmüştür. Ortalama farklar incelendiğinde 0.119 mm ile 0.611 mm arasında değiştiği görülmektedir. KOH değerleri incelendiğinde en düşük değer 2019 yılında ( $\pm 1.115$  mm) olup, en yüksek değere ise 2016 yılında ( $\pm 2.224$  mm) ulaşılmıştır.

Tüm istasyonlara ait PPP-PWV ve Radyosonda-PWV arasındaki farklara ilişkin temel istatistik değerlerin (Maksimum, Minimum, Ortalama ve KOH) yanı sıra iki değer arasındaki farklı yıllara ait



korelasyon katsayıları da hesaplanarak Çizelge 6'da verilmiştir. Korelasyon katsayıları 0.921-0.989 arasında değişmektedir. Her bir istasyon için korelasyon katsayıları incelendiğinde iki yöntem arasında yüksek bir uyum olduğu görülmüştür.

**Çizelge 6.** İstasyonların 2016-2020 yıllarına ait korelasyon değerleri

*Table 6. Correlation values of stations for the years 2016-2020*

	Korelasyon				
	2016	2017	2018	2019	2020
İzmir	0.962	0.962	0.978	0.974	0.973
Samsun	0.947	0.954	0.989	0.986	0.983
İstanbul	0.957	0.965	0.973	0.972	0.967
Erzurum	0.921	0.928	0.968	0.976	0.974

## SONUÇ VE TARTIŞMALAR (CONCLUSION and DISCUSSIONS)

Son yıllarda yaygın olarak kullanılan PPP tekniği ile yüksek doğrulukla konum bilgisi elde edilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen troposferik bilginin de doğruluğu önem arz etmektedir. Özellikle uydu bazlı tekniklerle yapılan çalışmalarda troposfer yapısının iyi bir şekilde analiz edilmesi ve modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla son yıllarda yaygın olarak kullanılan yüksek doğrulukta konum bilgisi veren PPP tekniği ile troposferik gecikme değerleri türetilmiştir. Bu çalışmada GNSS gözlem verileri kullanılarak, 30 saniye epok aralıklı CORS-TR verileri CSRS-PPP yazılımına gönderilerek ZWD değerleri elde edilmiştir. Hesaplama Mekik ve Deniz (2017)'de detayları verilen Türkiye için geliştirilmiş modeli ( $T_m=48.55+0.80T_s$ ) kullanılmış olup, PWV değerleri elde edilmiştir. Radyosonda-PWV değerleri Wyoming Üniversitesi web sitesinden alınarak PPP-PWV değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde iki yöntemle elde edilen PWV değerlerinin uyum içerisinde olduğu, çoğunlukla benzer trend gösterdiği görülmüştür. PPP-PWV ve Radyosonda-PWV farklarına ilişkin mutlak maksimum, mutlak minimum, ortalama ve KOH gibi temel istatistiksel değerleri hesaplanmıştır. Su buharını etkileyen nem değerlerinin denize kıyısı olan istasyonlarda (İstanbul, İzmir, Samsun) daha yüksek olduğu görülmüştür. Erzurum istasyonunun PWV değerlerinin 30 mm'ye kadar İstanbul, İzmir ve Samsun istasyonlarının PWV değerlerinin ise 50 mm'ye kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre nemli ve denize kıyısı olan İstanbul, İzmir ve Samsun illerinin yaz ve kış mevsimlerinde hesaplanan PWV değerlerinin arasındaki farkların karasal bir iklim yapısına sahip Erzurum istasyonundaki yaz ve kış mevsimi arasındaki farklardan daha büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca hava sıcaklığının yüksek olduğu dönemlerde PWV değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. KOH değerlerinin İzmir istasyonu için  $\pm 2.226 - \pm 3.112$  mm aralığında değiştiği, Samsun istasyonunda ise  $\pm 1.765 - \pm 3.827$  mm arasında değiştiği görülmüştür. İstanbul ve Erzurum istasyonları için ise sırasıyla  $\pm 2.008 - \pm 2.954$  mm ve  $\pm 1.115 - \pm 2.224$  mm arasında değişmiştir. PPP-PWV ve Radyosonda-PWV değerleri arasındaki korelasyon değerleri incelendiğinde tüm istasyonlara ait korelasyon değerlerinin 0.921-0.989 arasında değiştiği görülmüştür.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Gerçekleştirdiğimiz çalışmada sıcaklık verilerini sağladığı için Meteoroloji Genel Müdürlüğüne, CORS-TR RINEX verileri için Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne, veri değerlendirmede kullanılan web tabanlı online CSRS-PPP için Natural Resources Canada (NRCAN)'a, çalışmada kullanılan  $T_m$  modeli için Prof. Dr. Çetin Mekik ve Dr. Öğr. Üyesi İlke Deniz'e ve radyosonda istasyonlarına ait verilere erişme imkânı sunan Wyoming Üniversitesi Atmosfer Bilimi Bölümüne teşekkür ederiz. Bu çalışma Sema Nur Ağa'ın "Türkiye için PPP ve Radyosonda'dan elde edilen yoğunlaşabilir su buharı değerlerinin karşılaştırılması" isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

**ÇIKAR ÇATIŞMASI (DECLARATION OF CONFLICT INTEREST)**

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- Bevis, M., Businger, S., Chiswell, S., Herring, A., Anthes, R., Rocken, C., Ware, R., 1994, "GPS meteorology: Mapping zenith wet delays onto precipitable water", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Cilt 33, Sayı 3, ss. 379-386, [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1994\)033<0379:GMMZWD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1994)033<0379:GMMZWD>2.0.CO;2)
- Bezicioğlu, M., Yiğit, C., & Bodur, M., 2019, "Kinematik PPP-AR ve Geleneksel PPP Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi: Antartika Yarımadası Örneği", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 19, Sayı 1, ss. 162-169, <https://doi.org/10.35414/akufemubid.467336>.
- Davis, J., Herring, T., Shapiro, I., Rogers A., Elgered G., 1985, "Geodesy by Radio Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Baseline Length", *Radio Science*, <https://doi.org/10.1029/RS020i006p01593>
- Gürbüz G. Akgül V. Görmüş K. S. Kutoğlu Ş. H., 2021, "Assessment of precipitable water vapor over Turkey using GLONASS and GPS", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Cilt 222 (105712), <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2021.105712>
- Gürbüz G., Jin S., 2017, "Long-time variations of precipitable water vapour estimated from GPS, MODIS and radiosonde observations in Turkey", *International Journal of Climatology*, <https://doi.org/10.1002/joc.5153>
- Gratton P., Banville S., Lachapelle G., O'Keefe K., 2021, "Kinematic Zenith Tropospheric Delay Estimation with GNSS PPP in Mountainous Areas", *Sensors*, Cilt 21, Sayı 17, <https://doi.org/10.3390/s21175709>
- Li, Z., Muller, J. P., Cross, P., 2003, "Comparison of precipitable water vapor derived from radiosonde, GPS, and Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer measurements", *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, Cilt 108, 4651, <https://doi.org/10.1029/2003JD003372>
- Mekik, Ç., Deniz, İ., 2017, "Modelling and validation of the weighted mean temperature for Turkey", *Meteorological Applications*, Cilt 24, ss. 92-100, <https://doi.org/10.1002/met.1608>
- Pang, S., Yeh, T., Honh, J., Chen, C., 2021, "Variability and climatology of precipitable water vapor from 12-year GPS observations in Taiwan", *Advances in Space Research*, Cilt 67, Sayı 8, 2333-2346, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.01.021>
- Tunalı, E., 2018, "PPP ve IGS Gerçek Zaman Servisi ile Su Buharı Hareketlerinin İzlenmesi", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 18, 017101(343-356), <https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid/issue/43824/538634>.
- Zhao, Q., Yao, Y., Yao, W. Li, Z., 2018, "Real-time precise point positioning-based zenith tropospheric delay for precipitation forecasting", *Scientific Reports*, Cilt 8, 7939, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-26299-3>