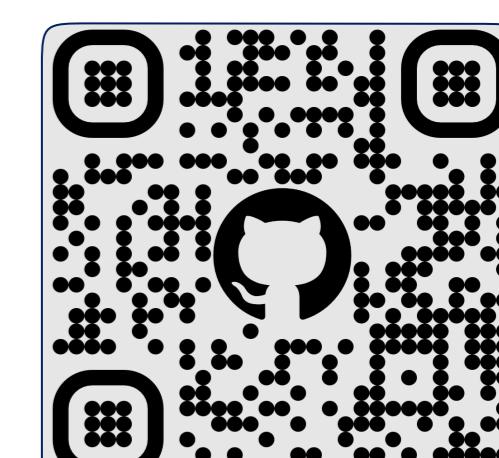


## GNSS Tekniği ve Yapay Sinir Ağı Modeli Kullanılarak Yağış Tahmini

Bilal MUTLU ([mutlubil@itu.edu.tr](mailto:mutlubil@itu.edu.tr))<sup>1</sup>, Serdar EROL<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Harita Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi



### Özet

Atmosferin yeryüzüne en yakın tabakası olan troposferdeki meteorolojik olayları GNSS sinyallerini etkilemeye, sinyallerin yeryüzüne ulaşmasını geciktirmektedir. Bu troposferik gecikme değerlerinin bir fonksiyon olarak hesaplanan yoğunlaşabilir su buharı (PWV) değeri ise ortaya çıkacak potansiyel yağış bilgisinin bir göstergesidir. Küresel ısınmanın etkisiyle oluşan dengesiz hava olayları düşünüldüğünde, yakın-gerçek zamanlı hava durumu tahminlerinde meteorolojik istasyon verileri ek olarak GNSS tabanlı verilerin kullanılması hem mekânsal hem de zamansal çözünürlüğü artırmak amacıyla önemli hale gelmiştir. Yağış fenomeni, dolaylı veya direkt olarak birçok meteorolojik parametrenin fonksiyonu olduğu için, tüm bu verilerin aynı anda kullanıldığı bir derin öğrenme modelinin performansının araştırılması önemli bir çalışma konusudur. Bu çalışma kapsamında, GNSS ve meteorolojik istasyon giriş verisi olarak kullanılan yapay sinir ağları (YSA) yaklaşımı ile, yağışların kısa vadeli tahmini gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 30 dakikalık yağış tahmini için ileri beslemeli doğrusal olmayan otoregresif dişsal girdili (Nonlinear Autoregressive Exogenous Model – NARX) sinir ağı modeli kullanılmıştır. Modelin girdileri olarak, GNSS tabanlı troposferik gecikme (islak, kuru, toplam) ve PWV değerleri; GNSS istasyonuna ait meteorolojik algılamaçıdan elde edilen bağıl nem, basınç, ıslak ve kuru sıcaklık ölçütleri ve NASA'nın Küresel Yağış Ölçümü için Entegre Çoklu Uydu Ölçmeleri (IMERG) projesinin yağış oranı verileri, kullanılmıştır. Yapay sinir ağı mimarisinde 10 nöronlu gizli bir katman ve 1 nöronlu çıkış katmanından oluşmaktadır. Aktivasyon fonksiyon olarak sigmoid fonksiyon tercih edilmiştir. Çalışmada, GNSS verisi olarak Uluslararası GNSS Servisi (IGS) ağının ISTA istasyonunun 2021 yılı 30 saniye aralıklı gözlemleri kullanılmıştır. Troposferik gecikme değerleri açık kaynak kodlu PRIDE PPP-AR yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır, bu gecikme değerlerinden PWV değerleri türetilmiştir. Modelin giriş verileri, %60 eğitim, %10 doğrulama ve %30 test olarak gruplandırılmıştır. Kestirilen yağış oranı değerleri, eğer 0 mm/saat ise yağmursuz hava, 5 mm/saat den düşük ise hafif yağmurlu hava ve 5 mm/saat den yüksek ise şiddetli yağmurlu hava olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Modelin performansını değerlendirmek için kestirim sonucu oluşan sınıflandırma ile olması gereken sınıflar karşılaştırılmış ve genel sınıflandırma başarısının %90'ın üzerinde olduğu bulunmuştur.

### Kullanılan Veriler

ISTA, IGS istasyonunun gözlemleri verilerinden yararlanılmıştır.

- Başlangıç : 1 Ocak 2021 00:00:00
- Bitiş : 1 Ocak 2022 00:00:00
- Veri aralığı : 30 saniye

Yararlanılan Meteorolojik sensör (Vaisala WXT520) verileri.

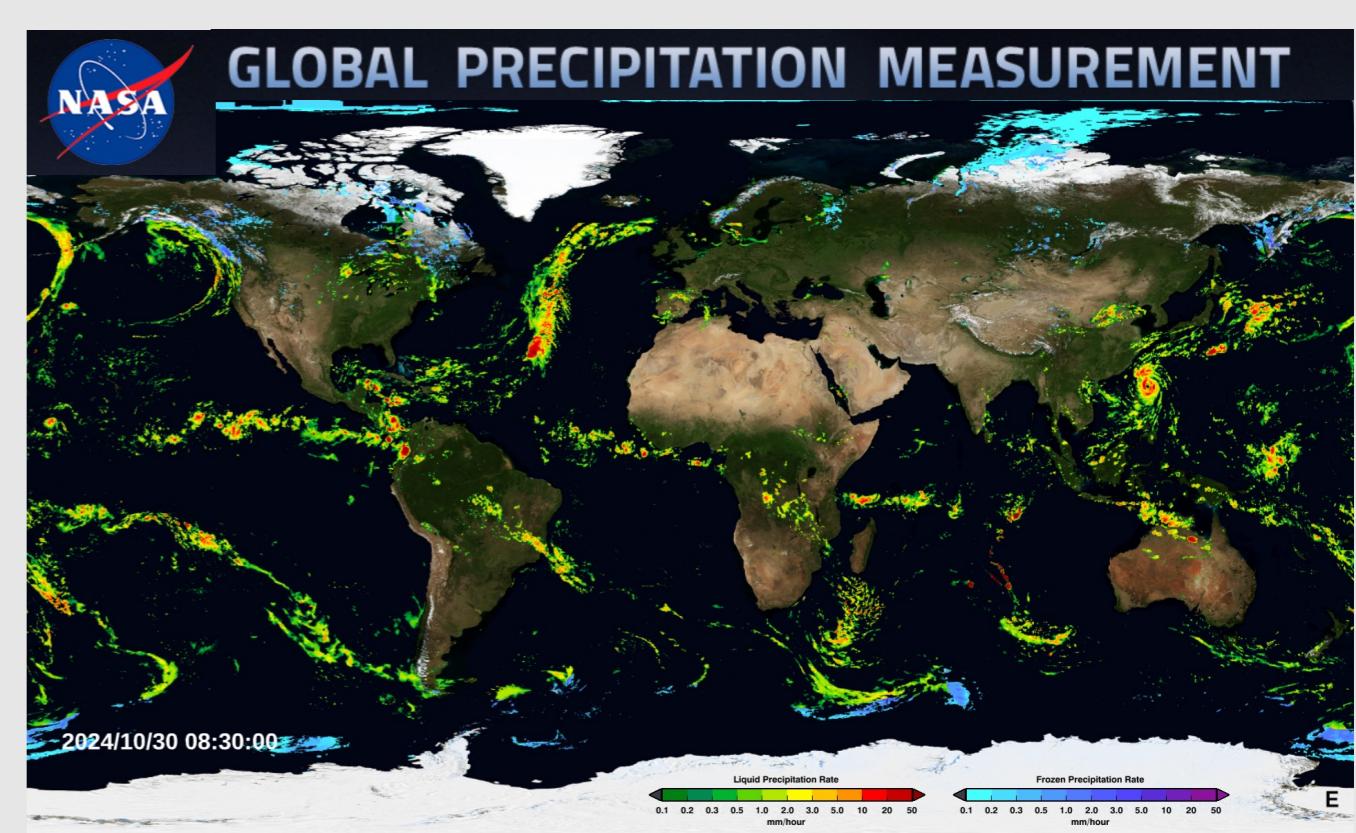
- Basınç
- Bağıl Nem
- Kuru Sıcaklık
- Islak Sıcaklık



NASA ve JAXA ortaklığında yürütülen Küresel Yağış Ölçümü için Entegre Çoklu Uydu Ölçmeleri (IMERG) projesinin yağış oranı verilerinden yararlanılmıştır.

- Başlangıç : 1 Ocak 2021 00:00:00
- Bitiş : 1 Ocak 2022 00:00:00
- Veri aralığı : 30 dakika
- Mekânsal çözünürlük :  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$

GPM Core Observatory (2014'ten günümüze) ve Tropical Rainfall Measuring Mission (2000-2014) uyularının verilerinden yararlanılarak türetilmektedir.



### Metodoloji ve Zaman Serileri

#### GNSS Tabanlı Yoğunlaşabilir Su Buharı (PWV) Hesabı

Saastamoinen gibi troposfer modelleri kullanılarak troposferik gecikmenin kuru bileşeni (ZHD) hesaplanmaktadır. Troposferik gecikmenin ıslak bileşenini (ZWD) hesaplayabilmek için ise toplam gecikme değerinden (ZTD) ZHD değerinin çıkarılması gerekmektedir.

- Bu çalışma kapsamında ZTD değerleri açık kaynak kodlu PRIDE-PPPAR yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.
- Sonrasında ise elde edilen ZWD değerleri kullanılarak PWV değerleri türetilmiştir.
- 30 saniye aralıklarla elde edilen PWV değerleri 30 dakikaya yeniden örneklenmiştir.

0.0022768 P

$$ZHD = 1 - 0.00266 \cos(2\varphi) - 0.00028 h$$

$$ZWD = ZTD - ZHD$$

$$\begin{aligned} PWV &= \Pi x ZWD \\ \Pi &= \frac{10^6}{\rho_w R_v (k'_2 + (k_3/T_m))} \\ \rho_w &: \text{Sıvı su yoğunluğu} \\ R_v &: \text{Su buharı sabitleri} \\ k'_2, k_3 &: \text{Su buharı ağırlıkları} \\ T_m &: \text{Ortalama sıcaklık} \end{aligned}$$

#### ISTA Meteorolojik Sensör Verileri

ISTA IGS istasyonunun meteorolojik verilerini içeren RINEX dosyalarından:

- Basınç,
- Bağıl Nem,
- Kuru Sıcaklık

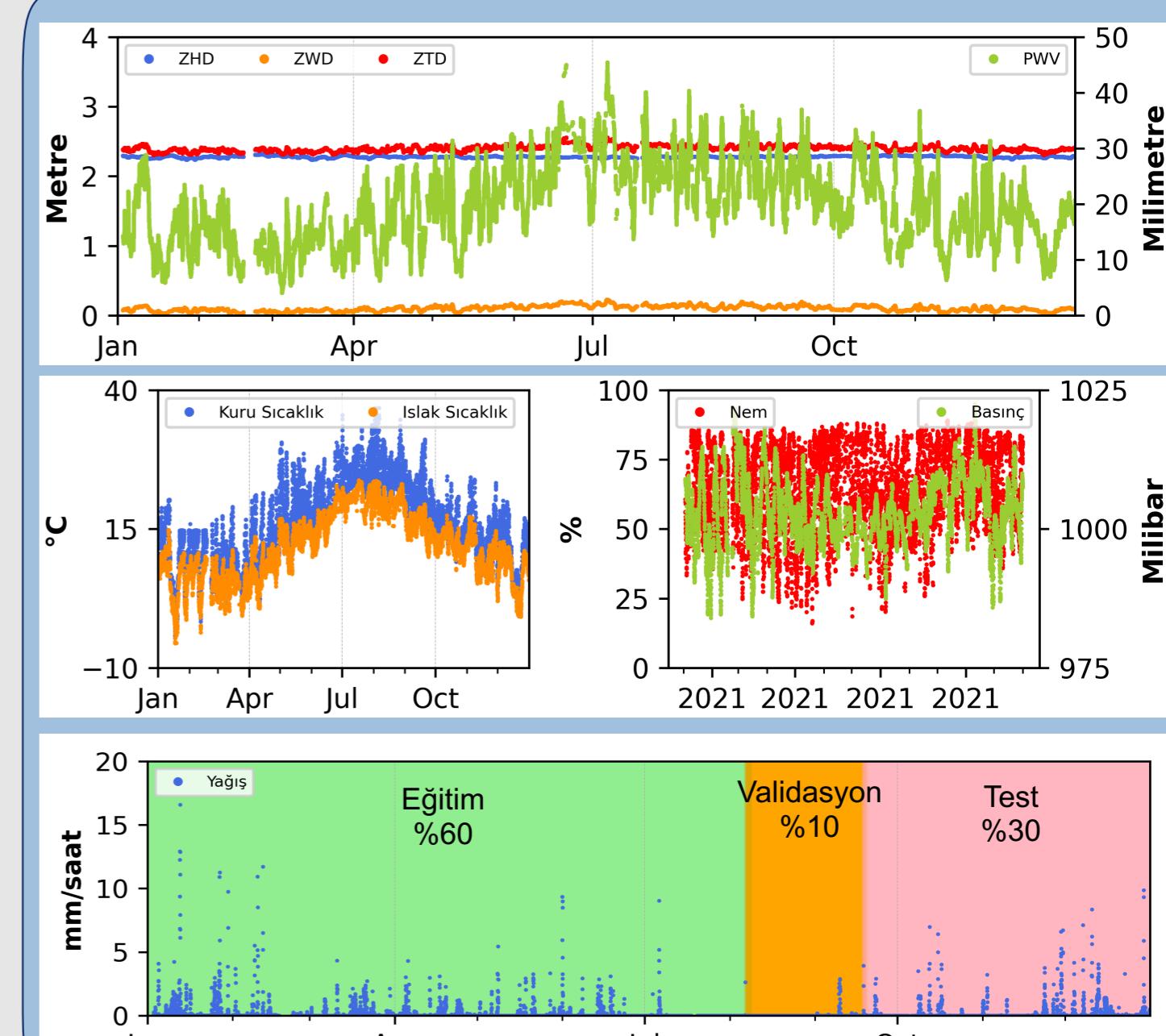
verileri direk olarak alınmıştır. Bunlara ek olarak ise bu veriler kullanılarak:

- Islak Sıcaklık verisi türetilmiştir.

Tüm veri aralıklarının eşit olması amaçlandığı için meteorolojik veriler de 30 dakikaya yeniden örneklenmiştir.

#### IMERG Yağış Verisi

Mekânsal çözünürlüğü  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  olan IMERG verilerinden, ISTA istasyonunun konumuna ait olan yağış verisi Ters Mesafe Ağırlıklandırması (IDW) yöntemiyle interpole edilmiştir.



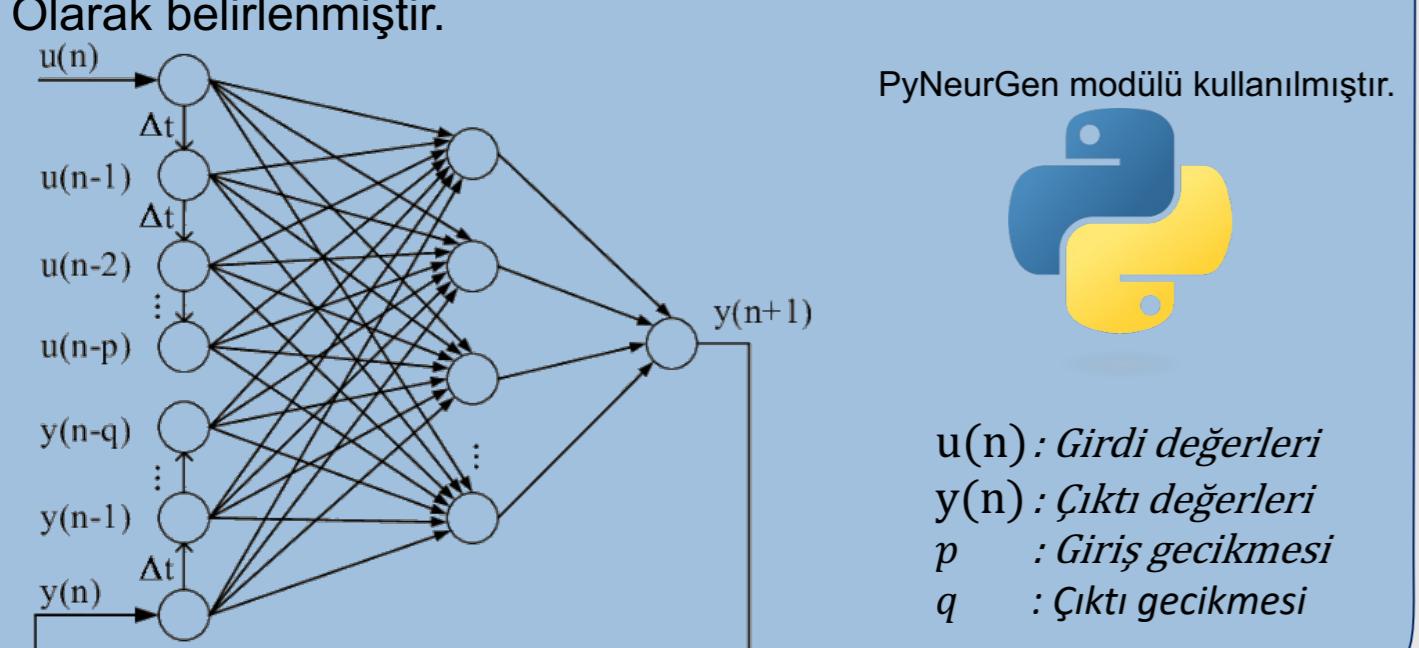
### Yapay Sinir Ağı ve Sınıflandırma

#### Doğrusal Olmayan Otoregresif Dışsal Girdili Yapay Sinir Ağı - NARX

NARX, ağıın birkaç katmanını kapsayan geri besleme bağlantılarına sahip tekrarlayan bir dinamik ağıdır. NARX modeli, zaman serisi modellemesinde yaygın olarak kullanılan doğrusal ARX modeline dayanmaktadır.

- Aktivasyon fonksiyonu : Sigmoid,
- Gizli katman : 1 (10 nöron),
- Çıkış katmanı : 1 nöron,
- Giriş ve Çıktı gecikme değerleri : 6,

Olarak belirlenmiştir.

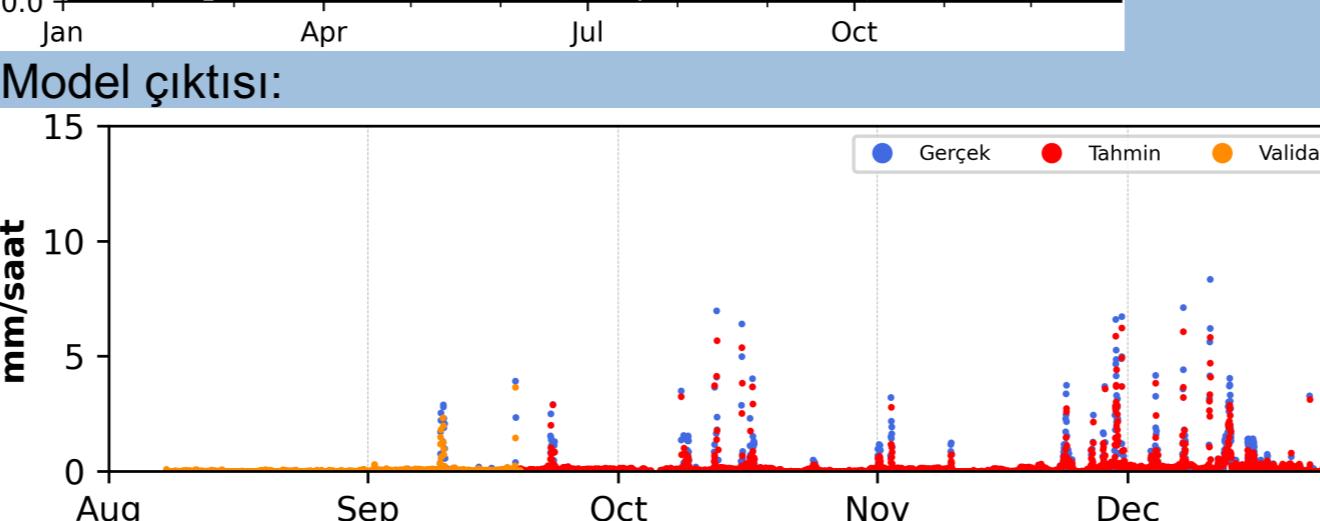
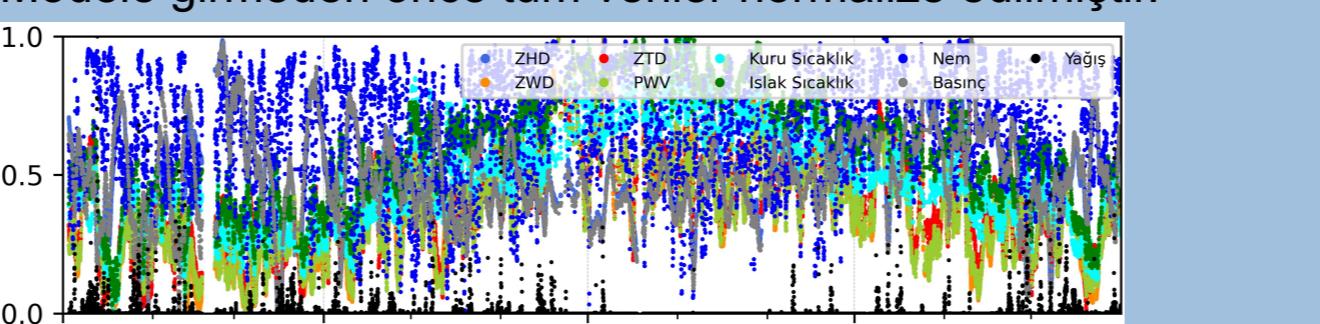


#### NARX Özeti

Özet veri tablosu:

Değişken İsmi	Kaynak	Birim	Fonksiyon
Yağış Miktarı	IMERG	mm/saat	Girdi/Cıktı
PWV, ZTD, ZWD, ZHD GNSS İstasyonu (IGS)		m, mm, mm, mm	Girdi
Basınç	Meteoroloji Sensörü (IGS)	Milibar	Girdi
Bağıl Nem	Meteoroloji Sensörü (IGS)	C°	Girdi
Sıcaklık	Meteoroloji Sensörü (IGS)	%	Girdi

Modelde girmeden önce tüm veriler normalize edilmiştir.



#### Sınıflandırma

Geçerleştirilen kestirim sonucunda:

- Yağmursuz epoklar %99.53 doğrulukla,
- Hafif yağmurlu epoklar %39.76 doğrulukla,
- Şiddetli yağmurlu epoklar ise %41.67 doğrulukla,

Sınıflandırılmıştır.

Tahmin	Gerçek			Yağış Türü Yağmursuz Hafif yağmurlu Şiddetli yağmur	Yağış Miktarı mm/saat 0 > 0 < 5 ≥ 5
	Yağmursuz	Hafif yağmurlu	Şiddetli yağmur		
Yağmursuz	4201 %95.50	93 %2.11	0 %0.00	4294 %97.83 %2.17	
Hafif yağmurlu	20 %0.45	66 %1.50	7 %0.16	93 %70.97 %29.03	
Şiddetli yağmur	0 %0.00	7 %0.16	5 %0.11	12 %41.67 %58.33	
	4221 %99.53 %0.47	166 %39.76 %60.24	4208 %41.67 %58.33	4272/4399 %97.11 %2.89	

- Genel sınıflandırma başarısı ise %97.11 olarak elde edilmiştir.
- Daha uzun süreli zaman serileri ve farklı YSA modeli ve parametreleriyle sınıflandırma başarısını geliştirmek mümkündür.