

**T.C.**  
**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**AKILLI SİSTEMLERLE YAĞIŞ TAHMİNİ: TUNCELİ İLİ ÖRNEĞİ**

**Sibel SARUHAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN**  
**Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK**

**TUNCELİ-2024**

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AKILLI SİSTEMLERLE YAĞIŞ TAHMİNİ: TUNCELİ İLİ ÖRNEĞİ

Sibel SARUHAN  
(200150026)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN  
Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK

TUNCELİ-2024

T.C.  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AKILLI SİSTEMLERLE YAĞIŞ TAHMİNİ: TUNCELİ İLİ ÖRNEĞİ

Sibel SARUHAN  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 12/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK  
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza

Doç. Dr. Sibel ASLAN  
(Fırat Üniversitesi)

ÜYE

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Özlem ERDEM  
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Enstitü Müdürü  
Doç. Dr. Murat KORUNUR

**NOT:** Bu tez kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir

## ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde ‘intihal içermediğini’ beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza  
Sibel SARUHAN

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK

## TEŞEKKÜR

Araştırmamın literatür aşamasında ve sunumumun her aşamasında bana yardımcı olan Değerli Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hilal ARSLANOĞLU IŞIK'a, literatür aşamasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Rahime KAYAR ve Saime ŞENER'e, araştırmanın her aşamasında maddi ve manevi yardımlarından dolayı aileme şükranlarımı sunmayı borç bilirim.

Sibel SARUHAN  
TUNCELİ, 2024



## İÇİNDEKİLER

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....                   | I    |
| TEŞEKKÜR.....                                                       | II   |
| İÇİNDEKİLER.....                                                    | III  |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                              | IV   |
| TABLOLAR LİSTESİ .....                                              | V    |
| SEMBOLLER LİSTESİ .....                                             | VI   |
| KISALTMALAR LİSTESİ .....                                           | VII  |
| ÖZET .....                                                          | VIII |
| ABSTRACT .....                                                      | IX   |
| 1. GİRİŞ.....                                                       | 1    |
| 2. METEOROLOJİ.....                                                 | 3    |
| 2.1. Meteorolojist.....                                             | 4    |
| 2. 2. Hava Tahmini İçin Meteorolojiye Giriş .....                   | 5    |
| 2. 3. Analiz .....                                                  | 6    |
| 2. 4. Hava Tahmin Metotları .....                                   | 7    |
| 2. 4. 1. İstatistiklere dayanan tahminler .....                     | 7    |
| 2. 4. 2. Fizik eşitliğine dayalı tahminler .....                    | 7    |
| 2.4.3. Tecrübeler.....                                              | 8    |
| 3. METEOROLOJİK PARAMETRELER.....                                   | 9    |
| 3. 1. Yağış.....                                                    | 9    |
| 3.1.1. Yağış Tipleri .....                                          | 10   |
| 3. 1. 2. Yağış oluşumu ve türleri.....                              | 13   |
| 3. 1. 3. Yağışın Ölçümü.....                                        | 15   |
| 3. 2. Buharlaşma .....                                              | 15   |
| 3. 2. 1. Buharlaşmayı etkileyen faktörler .....                     | 15   |
| 3.3. Sıcaklık Ölçülmesi.....                                        | 17   |
| 4. YAPAY SİNİR AĞI VE UYARLAMALI BULANIK AĞ TABANLI<br>TAHMİN ..... | 18   |
| 4. 1. Tahmin.....                                                   | 20   |
| 4. 2. Yapay Sinir Ağları.....                                       | 20   |
| 4.2.1. Biyolojik ve yapay sinir ağı sistemleri .....                | 21   |
| 4.2.2. YSA türleri .....                                            | 23   |
| 4.3. YSA'ların Uygulama Alanları .....                              | 27   |
| 4. 3. 1. Tahmin aşamaları .....                                     | 29   |
| 4.4. Uyarlamalı Bulanık Sinirsel Ağlar (UBSA).....                  | 30   |
| 5. MATERYAL METOD.....                                              | 30   |
| 5.1 Çalışma Alanı .....                                             | 32   |
| 5.2. Meteorolojik Veriler .....                                     | 33   |
| 5.3. Normalizasyon.....                                             | 34   |
| 5.4. Performans Kriterleri.....                                     | 35   |
| 6. BULGULAR .....                                                   | 37   |
| 6.1. YSA ile Ortalama Yağış Tahmini .....                           | 37   |
| 6.2. UBSA ile Ortalama Yağış Tahmini.....                           | 42   |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                                        | 44   |
| 8. KAYNAKLAR.....                                                   | 46   |
| ÖZGEÇMİŞ                                                            |      |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.1. Sinir sistemi.....                                                 | 23 |
| Şekil 4.2. İnsan sinir hücresi .....                                          | 24 |
| Şekil 4.3. YSA'ların genel yapısı.....                                        | 25 |
| Şekil 4.4. Yapay sinir ağlarının sınıflandırması .....                        | 28 |
| Şekil 4.5. İyi bir tahmin için gerekli aşamalar .....                         | 30 |
| Şekil 5.1. Tunceli konum haritası.....                                        | 33 |
| Şekil 6.1. 2012-2023 yıllarına ait aylık ortalama yağışlar .....              | 37 |
| Şekil 6.2. YSA'da kullanılan diyagram .....                                   | 38 |
| Şekil 6.3. Oluşturulan yapay sinir ağ modelinin görüntüsü .....               | 38 |
| Şekil 6.4. Tunceli İli için YSA ile ortalama yağış tahmini .....              | 39 |
| Şekil 6.5. Tunceli İli için YSA modelinin yaklaşım sayısı .....               | 40 |
| Şekil 6.6. YSA modeline ait performans grafikleri.....                        | 41 |
| Şekil 6.7. Gözlenen ve YSA ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki ..... | 41 |
| Şekil 6.8. Tunceli İli için UBSA ile ortalama yağış tahmini.....              | 42 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> Farklı enlem derecelerine sahip bölgelerde açık su yüzeyinde meydana<br>Gelen yıllık ortalama buharlaşma miktarları ..... | 15 |
| <b>Tablo 4.1.</b> Bir sınır sistemi ile YSA'nın benzerlikleri .....                                                                         | 24 |





## SEMBOLLER LİSTESİ

|                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| <b>Gr</b>                  | : Gram                  |
| <b>J</b>                   | : Düğüm net girişi      |
| <b>Kg</b>                  | : Kilogram              |
| <b>m</b>                   | : Metre                 |
| <b>mm</b>                  | : Milimetre             |
| <b>n</b>                   | : Deney sayısı          |
| <b>R</b>                   | : Korelasyon katsayısı  |
| <b>S</b>                   | : Standart sapma        |
| <b>w<sub>i</sub></b>       | : Ağırlık katsayısı     |
| <b>X</b>                   | : Ortalama              |
| <b>x1, x2... xn</b>        | : Giriş vektörü         |
| <b>y1, y2... ym</b>        | : Çıkış vektörü         |
| <b>y<sub>deney,i</sub></b> | : Deney ölçüm değerleri |
| <b>y<sub>model,i</sub></b> | : Model tahminleri      |
| <b>μ</b>                   | : Mikron                |

## KISALTMALAR LİSTESİ

|              |                                                         |
|--------------|---------------------------------------------------------|
| <b>AMS</b>   | : Amerikan Meteoroloji Kurumu                           |
| <b>ANFİS</b> | : Uyarlamalı ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sistemi |
| <b>COV</b>   | : Değişim katsayısı                                     |
| <b>ÇKA</b>   | : Çok katmanlı ağ                                       |
| <b>GY</b>    | : Geriye yayımlı                                        |
| <b>LM</b>    | : Levenberg- Marguardt                                  |
| <b>MAE</b>   | : Ortalama mutlak hata                                  |
| <b>NWP</b>   | : Sayısal hava tahmini                                  |
| <b>RMSE</b>  | : Hata karelerinin ortalama karekökü                    |
| <b>TSK</b>   | : Takagi-Sugeno-Kang                                    |
| <b>UBSA</b>  | : Uyarlama bulanık sinirsel ağlar                       |
| <b>YSA</b>   | : Yapay sinir ağları,                                   |
| <b>YSH</b>   | : Yapay sinir hücresi                                   |

## ÖZET

Meteorolojik olaylar hayatımızın birçok bölümünü etkilediğinden dolayı insan yaşamında çok büyük öneme sahiptir. Olağanüstü hava olayları hayatımızın gidişatını etkilediğinden meteorolojik olayların tahmine dilebilmesi hayatımızı birçok açıdan kolaylaştıracaktır. Yağış verilerinin öngörülebilir olması ve doğruya yakın şekilde tahmin edilebilmesi; mühendislik açısından birçok avantaj sağlayacak bir durumdur. Geçmiş yağış verileri yardımıyla bu tahmin işlemi Yapay Sinir Ağları sayesinde belirli matematiksel denklemler olmaksızın yapılabilmektedir.

Bu çalışmada Meteorolojiden alınan ham verilerden faydalanarak Yapay Sinir Ağları ile Bir model oluşturulmuştur. Bu amaçla 2012-2023 yılları arasındaki 12 yıllık aylık veriler kullanılmıştır. Ocak 2012'den Aralık 2023'e kadar olan 12 yıllık bir dönem için; aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), aylık toplam açık yüzey buharlaşması, aylık ortalama nisbi nem (%), aylık ortalama 10 cm toprak sıcaklığı, aylık ortalama rüzgar hızı (m/sn), aylık global güneş radyasyonu oranları, günlük toplam güneşlenme süresi aylık ortalaması ve aylık ortalama yağış ( $\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$ ) verileri kullanılmıştır. YSA modeli için giriş çıkış parametreleri kullanılarak sistemin uygun bir simulasyon modellemesi MATLAB ortamında yapılmıştır. YSA modelimizden elde edilen sayısal tahmini sonuçların bazı hata değerleri  $\text{RMSE}=0,3251$ ,  $\text{COV}=0,3887$ ,  $\text{MAE}=0,2141$  ve  $\text{R}^2$  değeri  $0,98548$  olarak bulunmuştur.

UBSA ile yapılan modelleme çalışmasında;  $\text{RMSE}=0,3087$ ,  $\text{COV}=0,3654$ ,  $\text{MAE}=0,2562$  ve  $\text{R}^2$  değeri  $0,5165$  olarak bulunmuştur. Bu hata değerleri yağış tahmini için iyi bir yaklaşım elde edildiğini göstermektedir. YSA modeli UBSA modeli ile karşılaştırıldığında YSA modelinin daha başarılı olduğu görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Yapay sinir ağları (YSA), Uyarlamalı bulanık sinir ağları (UBSA), yağış, yağış tahmini,

## ABSTRACT

### Rainfall Prediction With Intelligent Systems: A Case Study Of Tunceli Province

Meteorological events hold significant importance in human life as they affect many aspects of our lives. Predicting meteorological events will greatly facilitate our lives as extraordinary weather events influence the course of our lives. The predictability and accurate forecasting of rainfall data are crucial, offering numerous advantages from an engineering perspective. With the help of past rainfall data, this prediction process can be achieved through Artificial Neural Networks without the need for specific mathematical equations. In this study, a model has been created using Artificial Neural Networks by leveraging raw data obtained from meteorology.

For this purpose, monthly data from 2012 to 2023, covering a period of 12 years, has been utilized. For the 12-year period from January 2012 to December 2023, monthly average temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), total open surface evaporation per month, average relative humidity per month (%), average 10 cm soil temperature per month, average wind speed per month (m/s), monthly global solar radiation rates, daily total sunshine duration monthly average, and monthly average rainfall ( $\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$ ) data were employed. Using input and output parameters for the ANN model, an appropriate simulation modeling of the system was conducted in the MATLAB environment. The numerical predictive results obtained from our ANN model yielded certain error values:  $\text{RMSE}=0.3251$ ,  $\text{COV}=0.3887$ ,  $\text{MAE}=0.2141$ , and an  $\text{R}^2$  value of 0.98548. In the modeling study conducted with UBSA, the following error values were obtained:  $\text{RMSE}=0.3087$ ,  $\text{COV}=0.3654$ ,  $\text{MAE}=0.2562$ , and an  $\text{R}^2$  value of 0.5165.

These error values indicate a good approach to rainfall prediction. When comparing the ANN model with the UBSA model, it is observed that the ANN model performs more successfully.

**Key words:** Artificial neural networks (ANN), Adaptive network based fuzzy inference systems (ANFIS) rainfall, rainfall forecasts,

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla ilerlemesi ile bilgisayarlar günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir unsuru haline gelmiştir. Son dönemde bilgisayar bilimleri, donanım ve yazılım alanında önemli ve hızlı ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu ilerlemelere paralel olarak bilgisayar kullanımı artmış ve yeni çıkan yazılımların daha yüksek donanım gereksinimleri, yeni ürünlere olan talebi de arttırmıştır. 1950'lerden bugüne, insan gibi düşünen ve davranan sistemlerin geliştirilmesi için çalışmalar devam etmektedir. Yapay zekâ olarak bilinen bu alan, insan düşünme ve davranışlarını taklit etmeye odaklandığı için nöroloji, psikoloji ve mühendislik gibi farklı disiplinleri kapsayan geniş bir alana yayılmış durumda bulunmaktadır. Bu alandaki gelişmeler, bilgisayar bilimleri, mühendislik ve bilişsel psikoloji gibi farklı disiplinlerin bir araya gelmesini gerektirmektedir.

Yapay sinir ağları (YSA), yapay zekâ araştırmacılarının büyük ilgi gösterdiği bir alandır. YSA, örneklerden öğrenebilme ve genelleme yapabilme yetenekleri sayesinde son derece esnek ve güçlü bir araç haline gelmektedir. Bu özellikler, onları çok esnek ve güçlü araçlar yapmaktadır (Erkaymaz ve Yaşar, 2011).

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki sinir hücrelerinin bilgisayar ortamında matematiksel ve grafiksel bir modellemesidir. YSA'nın benimsediği öğrenme algoritmaları, klasik bilgisayar algoritmalarından farklıdır çünkü insan beyninin sezgisel gücünü yansıtmaktadırlar. Bu nedenle, çeşitli bilim dalları yapay sinir ağlarıyla ilgilenmektedir. Yapay sinir ağları genellikle istatistiksel veri analizi veya sistem optimizasyonu için kullanılan modeller oluşturmak için kullanılmaktadır. Özellikle tahmin ve sınıflandırma problemlerinde sıklıkla tercih edilen yapay sinir ağları, regresyon ve diğer klasik yöntemlerin yoğun olarak kullanıldığı alanlarda büyük ilgi görmektedir (Yüksek ve ark., 2007).

Bugün, yapay sinir ağları adı verilen alan, çeşitli nöronların farklı şekillerde bir araya getirilmesi taklit edilerek işlevin gerçekleşmesi ile ilgili yapısal, matematiksel ve felsefi sorunlara yanıt aranan bir disiplin haline gelmiştir.

Meteoroloji ise, atmosferde oluşan hava olaylarını inceleyen, Dünya üzerindeki yaşam formlarını ve onların gezegen üzerindeki etkilerini inceleyen bir bilim dalıdır. İlk çağlardan bu yana insanoğlu hava olaylarını merak etmiş ve araştırmalar yapmıştır. Geçmişten bugüne gelen sürede insanlar ellerindeki imkanlara göre atmosferdeki değişimleri tahmin etme ve mümkünse tahminlere göre tedbir almaya çalışmışlardır.

İklim yerleşmelerin tasarlanması ve planlanmasında çok büyük bir etkiye sahiptir. Açık ve kapalı mekanlardaki ısısal konforu doğrudan etkileyen faktörler, iklimin bileşenleridir. Güneşin ışıması ve hava sıcaklığı özellikle kapalı mekanlardaki ısısal konforu dolaylı olarak etkiler. Yapı içi ısısal konfor açısından bu faktörler büyük bir öneme sahiptir.

Ülkemizde meteorolojinin önemi hala yeterince anlaşılamamıştır. Çoğu kişi genellikle meteorolojinin sadece hava sıcaklığıyla ilgili olduğunu düşünse de, aslında mühendislik tarafı da son derece önemlidir. Meteorolojik olaylar hayatımızın pek çok yönünü etkilediğinden, insan yaşamı için büyük değer taşımaktadır. Meteorolojik veriler, birçok değişkene bağlı oldukları ve her yerde ölçülemedikleri için, farklı yöntemlerle modellemeye ve modeller aracılığıyla tahmin etmeye çalışmaktadır.

Yapay sinir ağlarının sınıflandırma ve tahmin yetenekleri, meteoroloji alanında kullanımını büyük ölçüde zorunlu kılmaktadır. Eksik ve gürültülü verilerde dahi genelleme yapma ve sonuca ulaşma becerisi olan yapay sinir ağları, hava durumu tahmini gibi doğrusal olmayan durumların modellenmesi için mükemmel bir yapı sunmaktadır.

Yapay Sinir Ağları (YSA), ilk bakışta basit görünebilir ancak YSA modellemesinde bilgi, deneyim ve verilerin en önemli faktörler olduğunu unutmamak gerekir.

Hava tahminleri yapılırken birçok farklı değişken göz önünde bulundurulur. Sıcaklık, bulut örtüsü, hava durumu, rüzgar yönü ve hızı gibi faktörler bu tahminlerde kullanılır. Her bir meteorolojik değişken için ayrı yapay sinir ağı modelleri oluşturularak hava tahminleri gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmanın amacı; yapay sinir ağları metodu kullanılarak Tunceli İline ait yağış tahmin modeli geliştirmektir. Tunceli İli için yağış tahmin modeli geliştirilirken kullanılan veriler, Tunceli İlinde bulunan Merkez meteoroloji istasyonuna ait verileridir. Meteorolojik verilerin tahmininde, sayısal veriler arasında tanımlanmamış ilişkileri tespit etmek üzere kullanılan yapay sinir ağları oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Bu nedenle YSA metodu meteorolojik olayların modellenmesinde de oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir. Bu çalışmada da çalışma alanı olarak belirlenen Tunceli İli için yağış olayını temsil eden en uygun akıllı sistem modeli belirlenmiştir.

## 2. METEOROLOJİ

Meteoroloji; Yunancadan gelen ‘meteoron’ kelimesinden adını almıştır. Meteoron kelimesinin Yunancadaki genel anlamı gökyüzünde olan olaylardır. Yunanlılar eski zamanlarda hava olaylarına çok önem verirlerdi. Çünkü o dönemlerde yaşayan insanların yaşamlarını ve ekonomilerini hava olayları etkilemekteydi. Örneğin bir denizcinin denizde seyahat etmesini, bir çiftçinin ürün yetiştirmesi doğa olaylarıyla ilişkilidir. Hava durumu tahmini ile hava durumuna ilişkin doğru ve zamanlı tahminler sağlamayı hedeflediğinden insan geçiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle eski Yunan halkı hava olaylarının birbiri ile etkileşimini anlamak için rasatlar yapmışlardır.

Yaklaşık 2000 yıl önce, antik Yunan filozofları gökyüzüne bakarak evrenin işleyişini anlamaya çalışmışlardır. Bu çalışmaların amacı, hayatımızda ve gelecek nesillerde önemli olan konularda temel soruların cevaplarını bulmaktır.

Aristo’nun meteorolojinin babası olduğu düşünülmektedir. Aristo’nun yağmur, dolu, fırtına ve diğer hava olaylarına ilişkin görüşleri bazı doğrular içerse de çoğunluğu yanlış görüşler barındırmaktadır. M.Ö. 340 yılında "Meteorologica" adlı eserini kaleme alan Aristo, bu dönemdeki diğer düşünürler gibi doğa olaylarını anlamak için gözlem yapmanın değil, mantık yoluyla doğruya ulaşmanın gerekliliğine inanmaktaydı.

Modern bilimin ilk zamanlarında, bilim adamı olarak anılan doğa filozofları, doğayı anlamının yalnızca mantıksal ve spekülasyon tartışmalarından ibaret olmayacağını anlamışlardır. Dünyadaki gerçekleşen doğa olaylarını anlamak için bunları gözlemlemek, analiz etmek, ölçmek ve kayıt altına alınması gerekmektedir. Fakat yapılan çalışmalarda yağış miktarını ve rüzgâr yönünü ölçebilmek çok uzun zaman almıştır.

M.S. 1600’lü yıllarda termometre icat edilmiştir. Bundan birkaç yıl sonra ise barometre keşfi yapılmıştır. Bu olaylardan sonraki 200 yılda ise, nem ve rüzgâr hızı gibi olayları ölçmek için meteorolojik aletler geliştirilmiştir. Bilim insanları bu gelişmelerden sonra bulunan sistemleri kullanarak iklimdeki uzun dönemli değişimleri kayıt altına almışlardır. Fakat harekeli, fırtına, tornado gibi diğer atmosferik olayların davranışlarını anlamlandıramamışlardır.

1800’lerin ortasında meteorologlar, geniş alanlara yayılan hava sistemlerinin gelişimi ve değişimi üzerinde çalışarak, yer yüzündeki rüzgarları ve bulutların yağmurunu nasıl oluşturduğunu anlamaya başladılar. Ancak, bu bilgilerin uzak bölgelere iletilmesi zor olduğu gibi, iletilme hızı da hava sistemlerinin hareketlerine kıyasla oldukça yavaştı. Bu

durum, telgrafın icat edilmesiyle birlikte ortadan kalkmıştır. Telgrafın icadı, bu bilgilerin hızlı ve etkili bir şekilde iletilmesini sağlayarak büyük bir ilerleme gerçekleştirmiştir. Böylelikle hazırlanan raporlar başka merkezlere iletmeye başlanabilmektedir.

Norveçli bir grup bilim insanı 1900'li yılların başlarında atmosferik hareketleri temel fizik kurallarına uygulama çalışmalarına başladılar. Bunun yanında bu çalışmayı yapan bilim insanları sıcak ve soğuk hava kütlelerinin, kütleleriyle hareket ettikleri ve birbirleriyle etkileşime girdikleri durumu da cephe olarak adlandırmışlardır. Bu durum, modern hava tahminlerinin temelini oluşturmaktadır.

1940'ların başlarından itibaren, İkinci Dünya Savaşı sırasında meteoroloji alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Hava hareketleri üzerindeki derinlemesine anlayış, özellikle Karayip Denizi ve Pasifik Okyanusu'nun güneydoğusu gibi geniş bölgelerde hava tahmininin önemini arttırmıştır. Üniversiteler ve askeri kurumlar, gençleşme hareketi kapsamında meteoroloji konusunda eğitim gören gençleri yetiştirmeye başlamışlardır. Bu genç yetenekler ileri meteoroloji tahmincisi olarak ihtiyaç duyulan alanlarda çalışmaya başlamışlardır. Bu dönemde, genç yetenekler aynı zamanda iklim ve hava ile ilgili bilimsel araştırmalara da destek vermişlerdir. Savaş sırasında teknolojik gelişmeler hızla ilerlemiş ve bu dönemde radar gibi bir dizi kritik meteorolojik sistem, önemli ölçüde ilerlemiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan günümüze, meteoroloji uzmanları atmosferik koşulları incelemek için çeşitli yenilikçi cihazlar ve teknikler geliştirmişlerdir. Hava sistemleri ve fırtınaları; uydular, radarlar ve yüksek performanslı uçaklar kullanarak izleme ve tahmin etme imkanı oluşmuştur. Ayrıca, günümüzde sayısal hava tahmin modelleri geliştirilerek atmosferin genel davranışları incelenmektedir. Hava dolaşımı analiz edilebilmekte ve tüm yağış verileri toplayarak atmosferik süreçler bilgisayarlarda simüle edilebilmektedir (URL-1, 2021).

## **2.1. Meteorolojist**

Meteorolojist kelimesini duyduğumuzda aklımıza genellikle birçok kanalda haberlerden sonra yarınki hava durumunu söyleyen kişi gelmektedir. Amerikan Meteoroloji kurumu (AMS) meteorolojisti, meteoroloji hakkında gerekli eğitimleri alan kişi olarak tanımlamaktadır. Buna ek olarak atmosferdeki rasatları ve parametreleri bilimsel olarak açıklayan kişi demektir. Atmosfer bilimi, meteorolojik unsurların tanımlandığı ve diğer atmosfer çalışmalarında kullanılan bir alandır (URL-1, 2021).



Hava durumunun tahmin edilmesi ve anlaşılması için geçmişten bugüne kadar atmosferdeki hava koşullarını ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. En önemli ölçümler arasında yer istasyonlarındaki cihazlar aracılığıyla ölçülen barometrik basınç, nem, sıcaklık ve rüzgar hızı ile yönü bulunmaktadır. Daha sonra, Rawinsonde sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistem sayesinde atmosferin üst seviyelerindeki basınç, nem ve sıcaklık değerleri ölçülebilmektedir. Bu sistemle yüksek irtifadaki rüzgarın şiddeti ve yönü, balonun bırakıldığı noktadan yapılan ölçümlerle takip edilerek belirlenebilmektedir. Bu ölçümler meteorologlara yalnızca yeryüzündeki değil, aynı zamanda atmosferin farklı seviyelerindeki hava olaylarıyla ilgili bilgiler hakkında veri sağlamaktadır. Son zamanlarda, uzaktan algılama teknikleriyle Rawinsonde rasatlarının yer yüzeyinden de yapılabilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Ancak hala Rawinsonde sistemleri meteoroloji biliminin temel araçlarından biridir.

Uydular, uçaklar, bilgisayarlar ve radarlar meteorolojistlere bilgi konusunda kolaylık sağlayan sistemlerdir. En gelişmiş bilgisayarlar, hava tahminleri ve atmosferik araştırmalar için hızlı bir şekilde kullanılmaktadır (URL-1, 2021).

## **2. 2. Hava Tahmini İçin Meteorolojiye Giriş**

Geçmişte atmosferde meydana gelen olayların nasıl gerçekleştiğini anlamak zor olmaktaydı. Ancak şu an, atmosferde gerçekleşen olayların tamamen fizik kanunlarının bir sonucu olduğunu biliyoruz. Hava koşulları, atmosferin ısınması ve soğumasıyla birlikte ortaya çıkan hareketlerle ilişkilidir. Hava durumu sürekli değişir. Sıcak hava soğuk havanın yerini alabilir, yağmur kar yağışına dönüşebilir, rüzgarlar fırtınalara dönüşebilir. Bu değişikliklerde, yoğunlaşma ve buharlaşma gibi atmosferdeki farklı süreçler rol oynamaktadır. Termodinamik ve hidrodinamik prensipler, havanın gelecekte nasıl davranacağı ve neden bu şekilde davrandığı konusunda tahmin yapmamıza yardımcı olmaktadır. Hava tahmini, insan yaşamı üzerindeki önemli etkileri ve atmosferik hareketin karmaşık doğası nedeniyle çekici ama zorlu bir süreç olarak değerlendirilmektedir (Ma ve ark., 2023).

Bugün, bilimsel hava tahmini, atmosferdeki fiziksel özelliklerin uzaydaki dağılımını gösteren hava haritalarından yararlanarak, gelecekteki hava koşullarını tahmin etmeyi amaçlayan sinoptik meteoroloji prensiplerine dayanmaktadır. Yer ve yükseklik hava haritaları, atmosferin çeşitli fiziksel özelliklerine olan dağılımını göstermektedir. Bu

dağılımın bulunduğu alana atmosferik alan adı verilir. Atmosferik alan, dünya dönüşü ve yerçekimi gibi faktörlerden etkilenir ve ayrıca hassas termal hareketleri yansıtmaktadır. İleriye dönük hava tahminleri teorik olarak dinamik prensipler kullanılarak yapılmaktadır. Bu nedenle, mevcut atmosfer koşulları verildiğinde gelecekteki bir durumu belirlemek için en bilimsel yaklaşım, hidrodinamik ve termodinamik denklemlerin uygulanmasıdır.

Bu denklemlerin karmaşıklığı, net bir çözüm bulmayı zorlaştırmaktadır. Bu sebeple hava tahmini yapılırken bazı teknik yaklaşımların kullanılması gerekmektedir. Bu teknikler, atmosferik olayların deneysel ve teorik özelliklerinin modellenmesini içermektedir. Bu durum, hava tahmini yapılan sürecin temelini oluşturmaktadır.

Hava tahminleri hazırlanırken teknik olarak üç aşama takip edilir:

- İlk olarak, gelecek günün hava durumunun belirlenmesi ve yer ile yüksek seviyeler için hava tahmini haritalarının oluşturulması gerekmektedir.
- İkinci olarak, prognostik haritalardaki koşulların hangi tür hava durumunu temsil ettiği yorumlanmalıdır.
- Üçüncü olarak, yerel hava koşullarının beklenen sinopik şartlara göre belirlenmesi gerekmektedir.

Atmosferik olayların analizinde, sinoptik, dinamik ve lokal modellerin etkisi büyüktür. Bu üç aşama ile sinoptik haritaların ve bunlara bağlı hava olaylarının sayısal ilişkileri dikkate değerdir (URL-2, 2021)

### **2. 3. Analiz**

Rasat istasyonları, geniş alanlara yayılmış durumda olmayabilir. Bu durum, hava durumu raporlarında bazı eksikliklerin olabileceği anlamına gelmektedir. Küçük ölçekli sistemler için özellikle oraj, hortum gibi durumlar önemlidir. Bu nedenle, yerel ve genel hava durumunu birbirinden ayırmak zor olabilmektedir. Analizin temel amacı, yerel olayları yanlış bilgilerden arındırmak, hatalı ve uygun olmayan durumları gidermek ve yerel olayı genel olaydan ayırmaktır. Genel olarak, atmosfer durumunu mümkün olduğunca rasatların istediği duruma yaklaştırmak amaçlanır. Genel görünüm hava haritası ya da sinoptik harita üzerinde gösterilir. Analizin bir diğer amacı da hava sistemlerinin elemanlarını temel fizik yöntemleriyle isimlendirmektir. Bu elemanlar; cepheler, hava kütleleri, siklonlar, türbülans, antisiklonlar vb. şeklinde ayrılmıştır. Güncel ve önceki

haritalar mantıksal bir süreklilik göstermektedir. Bu haritalar geçmişten günümüze olan hava durumlarını birleştirirler. Yapılacak çalışmaların analiz süreci, güvenilir bilimsel yöntemlere ve uzun süreli pratiğe dayanmaktadır. Çünkü doğru teşhisler ve tahminler yapmak için analizin sağlam bir temele sahip olması gerekmektedir. Ayrıca analiz, gerçek atmosferik olayların tahminlerinden kaynaklanan hataları belirlemek için de kullanılır (URL-3, 2021).

## **2. 4. Hava Tahmin Metotları**

Bugün, hava tahmin yöntemleri geniş bir yelpazede değişmektedir. Bunlardan bazıları istatistiksel ve dinamik yöntemlerin kullanılarak, yüksek kapasiteli bilgisayarlar gerektiren karmaşık modellere dayanmaktadır. Bunun yanı sıra fizik eşitliğine dayalı tahminlerde kullanılmaktadır. Ancak tecrübenin de pratikte de önemli bir rol oynadığı unutulmamalıdır.

### **2. 4. 1. İstatistiklere dayanan tahminler**

Geçmişte yaşanan deneyimler ve edinilen bilgiler, belirli olayların gelecekte nasıl gerçekleşebileceği konusunda bize çok şey söylemektedir. Geçmişle gelecek arasında istatistiksel bir ilişki kurarak bu deneyimler formüle edebilmektedir. Kısacası, dün ve bugün yaşananlar, yarın ne olacağı hakkında istatistiksel tahminlerde bulunmamıza yardımcı olabilir. Elde edilen istatistiksel tahminler genellikle bir olasılık olarak ifade edilir. Örneğin: Yarınki en muhtemel maksimum sıcaklık 25°C olacak: Gerçek maksimum sıcaklık 20°C ile 30°C arasında olma olasılığı %90'dır. Bu tür olasılık tahminleri, NWP (Sayısal Hava Tahmini) verileri kullanılarak yapılmaktadır.

### **2. 4. 2. Fizik eşitliğine dayalı tahminler**

Mevcut durumun tam olarak bilinmesi ve bu durumun değişme hızı arasındaki dinamik ilişki, gelecekteki durumu tahmin etmek için kullanılabilir. Bu yaklaşım, sayısal hava tahmini olarak adlandırılır ve pratikte yaygın bir şekilde kullanılır. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar, tüm dünyadaki hava tahminleri için temel kaynak teşkil etmektedir.

### 2.4.3. Tecrübeler

Karmaşık işlemlerle uğraşırken, her olaya ayrı ayrı değer atamak genellikle mümkün değildir. Geçmiş tecrübelerden ve yerel etkilerden yola çıkarak, her olay için ayrılan bir değer oluşturulabilir. Tecrübelerin çoğu tahmincinin kendi formülasyonunda toplanmalıdır. NWP rehber materyallerini etkili bir şekilde kullanabilmek için, bu bilgiler güncel formülasyonlarla bütünleştirilir (URL-4, 2021).



### **3. METEOROLOJİK PARAMETRELER**

#### **3. 1. Yağış**

Atmosferden sıvı ya da katı halde yeryüzüne düşen sulara yağış denilmektedir. Katı haldeki yağış dolu, kar, kırağı ve çığ şeklinde olurken sıvı haldeki yağış ise yağmur şeklindedir.

Kar ve yağmur hidrolojik açıdan en önemli iki yağış şekli olup hidrolojik açıdan aralarındaki önemli fark ise karın genellikle uzun bir süreden sonra akış haline geçerken, yağmur halinde yeryüzüne düşen suların hemen akış haline geçmesidir.

Yağış özellikle meteorolojinin araştırma alanına girmektedir. Bir çok istasyonda yağış ölçümleri için yağış ölçme ağırları kurulması eskiye dayanmaktadır. Ancak akım ölçümleri daha sıkı bir süredir yapılmaktadır. Buna ek olarak yağış ölçümlerini yapmak fazla bilgi gerektirmektedir ve daha kolaydır. Sadece toplanan verilerin sağlıklı ve doğru bir şekilde toplanması gerekmektedir. Bundan dolayı yağış verileri, diğer hidrolojik verilere kıyasla daha uzun süreler boyunca daha güvenilir bir şekilde elde edilmektedir (Çevik, 2009).

##### **3.1.1. Yağış Tipleri**

**Yağmur:** Dünya üzerindeki sular, güneşin ısıısıyla buharlaşıp ve atmosfere yükselmektedir. Yukarıda bulunan soğuk hava, su buharını minik su damlacıklarına ya da buz kristallerine dönüştürerek bulut oluşumuna neden olmaktadır. Hafif su damlacıkları rüzgarın etkisiyle gökyüzünde süzülürken büyüyerek ağırlaşır ve yağmur olarak yeryüzüne düşerler.

**Çığ:** Havada asılı olarak duran su buharının, bulunduğu bölgedeki yüzeyi soğuk alanların üzerinde, buhar halinden yoğunlaşarak sıvı hale geçmesiyle oluşur.

**Çisenti:** Yağmur damlasından küçük, sis ve buluttan büyük su damlacıklarıdır. Çiseleme ve çisenti olarak da adlandırılır. O kadar küçük damlacıklardır ki bazı durumlarda havada uçuyor olarak gözükebilmektedirler.

Sis Damlası: Sisten gelen su damlacıklarının ağaçların ve diğer nesnelerin iğnelerine ve yapraklarına yapışması, daha büyük damlalar halinde birleşik daha sonra yere düşmesi sonucu oluşmaktadır. Düşük yağış alan bölgelerde veya mevsimsel olarak kuru alanlarda sis damlaması önemli bir nem kaynağı olabilmektedir.

Dolu: Bulutların içinde oluşan yağmur damlacıkları fırtınaya maruz kalınca donarlar. Bu yağmur damlacıkları aşağı inerken hareketi artar ve donan parçalar daha büyüyüp buz parçaları şeklinde yüzeye inerler. Bu olay dolu olarak adlandırılmaktadır. Fakat havada bulunun damlalar yukarıda değil de aşağıda soğumaya başlarsa bu durumda da sis meydana gelmektedir.

Kar: Yüksek bulutlarda bulunan su damlaları, yukarıda soğuk hava ile karşılaşınca minik buz parçalarına dönüşürler. Bu buz parçaları birbirine çarparak yada başka sebeplerden ötürü yeterli büyüklüğe varınca kar olarak yağmaktadır.

Kar Kristalleri: Yapışık buz kristalleri, birkaç cm büyüklüğünde olabilir.

Kar Tanesi: Çok küçük, saydam, olmayan ve düz buz tanecikleridir.

Kar Toprağı: 2-5 mm çaplı saydam olmayan buz toprakları, sağanak halinde yağar.

Kırağı: Genellikle sonbahar ve ilkbahar ayında geceleri meydana gelmektedir. Havada bulunan su buharı çok soğuk bir havaya maruz kalınca donarak katılaşır. Bu durumda bulunduğu yüzeylerde kar gibi bir görüntü oluşturmaktadır.

Buz Tanesi ve Buz Sepkeni: Ortamda bulunan buz parçalarına yapışıp saran kar veya buz parçalarına denir. Donmuş olarak bulunan çisenti veya yağmur damlalarına buz sepkeni denilmektedir (Çevik, 2009).

### **3. 1. 2. Yağış oluşumu ve türleri**

Yağışın oluşması için havanın doygun olması gerekmektedir. Havanın doygunluk durumu olsa bile eğer hava %100 saf ise yağmur oluşmaz. Yağışa uygun ortamda oluşması için dört mekanizmanında ardı ardına gerçekleşmesi gerekmektedir. Bunların sıralaması ise soğutma mekanizması, yoğunlaşma mekanizması, damlacıkların yeterli büyümesi mekanizması, ve bölgede nemli bulutların bulunması olarak sayabiliriz.

Soğutma Mekanizması: Bulutların yeterli doygunluğa ulaşabilmiş olması için yeterli soğukluk olmalıdır. Havanın soğuması dinamik yollarla gerçekleşmektedir. İki farklı sıcaklıkta bulunan iki hava kütesinin karışmasıyla veya havanın sıcaklığına bağlı olarak hava kitlesinin kendi sıcaklığından daha soğuk yerle temas etmesiyle

oluşabilmektedir. Yeryüzüne yakın doymamış hava kütlesi, konveksiyonel ya da başka yollar aracılığıyla yukarılara taşındığında, yükseklikle birlikte basıncın azalmasıyla orantılı olarak genleşme meydana gelmektedir. Bu işlem aşamasında havaya dış kaynaklardan ısı eklenmez veya çıkarılmaz. Buna rağmen, genişleme işlemi sırasında işe çevrilen ısı enerjisinden dolayı havanın sıcaklığı düşer. Bu olaya adyabatik veya dinamik olarak adlandırılır. Bu tür soğumalar yoğunlaşmanın ana sebebidir. Bundan dolayıda konvektif sağanaklar ortaya çıkmaktadır. Eğer neme doymuş hava, topografik bir engelden dolayı yükselmeye maruz kalırsa sırasıyla genleşme, soğuma ve yağış takip eder.

**Yoğunlaşma Mekanizması:** Hava soğumaya başladığında su bahrı yoğunlaşarak sıvı forma dönüşmektedir. Yoğunlaşmanın gerçekleşmesi için havada yoğunlaşma (süblimleşme veya donma) çekirdekleri olarak bilinen nem çekmeye müsait toz parçacıkları bulunmalıdır. Bu toz taneciklerine örnek olarak organik cisimler, volkanik kül, toz, duman vb verilebilir. Bu saydığımız toz tanecikleri atmosferde daima bulunduğundan hava doymuş hale gelince bu koşullar zamanla birlikte gerçekleşir. Atmosferdeki su çekmeye hali hazırda hazır olan parçaların büyük bir oranı sülfürtrioksit yada sodyum klorittir.

Damlacıkların büyümesi mutlaka yağışa sebebiyet verecek bir neden değildir. Yoğunlaşmayı yaklaşık 40  $\mu$  çapa sahip su damlacıklarından oluşan bulut yada sis oluşturur. Ortamda bulunan yağmur damlaların çapı ise ortalama 500 – 4000  $\mu$  arasında değişmektedir. Belli bir büyüklüğe gelmeden yoğunlaşan su damlacıkları yere düşmezler. Yoğunlaşan su damlacıklarının yere düşmesini sağlayan iki yol bulunmaktadır. Bu yollardan birincisi, yağış oluşurken büyük damlacıkların yer değiştiren küçük damlacıkları içine alarak hacmini daha da arttırarak çarpışma etkisini oluşturması. İkincisi ise, bulutların içerisinde karışık halde bulunması gereken buz ve su damlacıkları nedeniyle bulutun sahip olduğu hava basıncının, doymuş su buharı basıncının su ve buz yüzeylerdeki farkından dolayı bu iki basınç arasında olmasıdır. İlk önce su parçacıkları buharlaşacak ve daha sonrasında eş zamanlı olarak buz parçalarının yüzeyinde yoğunlaşacaktır. Bu durumda yeryüzüne düşme ihtimali yüksek büyük damlacıklar oluşmaya başlayacaktır. Bu olaya buz kristalleri etkisi denilmektedir (Çevik, 2009).

**Yağış Bölgesine Nemli Bulutların Gelmesi:** Yapılan incelemelerde bulutların su miktarı baya azdır. Bir bulut, hacminden fazlasını taşıyamaz. Bu değer ortalama olarak 2-3 gr sıvı sudan fazlasını değildir. Bundan dolayı uzun süreli bir yağışın gerçekleşmesi

için yağış alanına yeni su yüklü bulutların gelmesi gerekmektedir. Bu sayılan tüm sebepler ardı ardına gerçekleşirse çok uzun süreli yağış görülebilir (Çevik, 2009).

Yağışın oluşabilmesi için bir başka yöntem ise, havanın yükselmesi ile meydana gelir. Yeryüzünden yukarıya çıkıldıkça atmosfer basıncının azaldığı gözlemlendiği için, ideal gaz kanununa göre hava kütlelerinin sıcaklığının da azaldığı gözlemlenmektedir. Bu yükselmeye birlikte çeşitli yağış tipleri oluşur. Bunlar aşağıdaki şekilde isimlendirilip sıralanabilir.

**Konvektif Yağış:** Yüzeye yakın konumda bulunan hava kütlesi ısınmayla birlikte yukarı doğru yükselir. Bu olayın oluşması için en elverişli ortam dağların arasında bulunan bölgeler olup özellikle de mevsim olarak yaz mevsiminde meydana gelmektedir. Türkiye’de ise en çok İç Anadolu Bölgesinde görülmektedir. Çoğunlukla yaz aylarında meydana gelmektedir. Şiddetli olmasına rağmen kısa süreli oluşurlar.

**Depresyonik (Siklonik) Yağış (Cephe Yağışı):** Düşey bir cephede soğuk hava kütlesi ve sıcak hava kütlelerinin karşılaşması sonucu soğuk hava kütlelerinin aşağı doğru hareket ederken sıcak hava kütlelerinin tam tersi yönde yukarı doğru hareket etmesiyle oluşur. Bulunan cephede soğuk hava ile sıcak hava birbirlerine karşılık verirler. Soğuk hava sıcak havayı yukarı doğru sürekler ve bu da sıcak hava yağışlarını oluşturur. Tam tersi olduğu durumda ise soğuk cephe yağışları oluşmaktadır. Bu yağışlar sıcak hava yağışlarından daha serttir.

Depresyonik yağış ortamda cephe olmasa bile düşük basınç ortamında da oluşabilir. Oluşan cephe yağışları süre olarak uzun, orta şiddette ve geniş bir alanda görülür. Türkiyenin çoğunda oluşan yağışların büyük bir çoğunluğu depresyonik yağış türündendir. Bunların dışında bazen soğuk havanın sıcak havayla karşılaşp sıcak havayı sarıp içine alıp yükselmesi ile de çok şiddetli yağışlar da meydana gelebilmektedir.

**Orografik Yağış:** Bölgede bulunan dağların denize göre paralellik durumu, konumu ve arazi yapısı ile bölgenin yağışı birbiri ile bağlantılıdır. Türkiye de bulunan dağların dizilimi de yağışı çok etkilemektedir. Bir hava kütlesi dağ gibi bir yüksek engelle karşılaştığı zaman o dağ kütlelerini aşmak için yükselmekte bu yükselmeye birlikte hava kütlesi soğumakta ve orografik yağışlar oluşmaktadır (Çevik, 2009; URL-5, 2021).



### 3. 1. 3. Yağışın Ölçümü

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yağışın ölçülmesi için değişik tiplerde aletler geliştirilmiştir. Yağın olarak kullanılan iki tür cihaz bulunmaktadır. Bunlar; kayıt yapamayan ve kayıt yapan yağış ölçerlerdir. Kayıt yapamayan ölçüm cihazları ölçekli bir ölçüm çubuğundan ve silindirik bir kaptan oluşurlar. Ölçekli ölçüm çubuğu bazen ölçüm cihazının bir parçası da olabilmektedir. Kayıt alan cihazlar ise telemetri (radyo bağlantısı) ile çalışmaktadır. Kayıt işlemi 1 dakika ya da daha az bir zamanda gerçekleşebilmektedir. Kayıtlı ölçüm yapan cihazlar kendi içinde devrilen kovalı, sifonlu ve terazili yağış ölçerler olmak üzere üçe ayrılmaktadırlar.

Plüviyometre: Yeryüzüne düşen yağışı direkt olarak ölçen bir cihaz olan plüviyometre, dikey sütun görünümüne ve alttan üste doğru düzgün bir kesiti bulunan bir kap içinde toplanan yağmur suyunun yüksekliğini üzerinden yağış miktarının tespit edilmesi temel mantığına göre çalışmaktadır. Meteoroloji uzmanlarının bizi yoğun yağış ve kuraklık ile ilgili bilgilendirmeleri plüviyometre ve benzer ölçüm aletlerinden aldıkları verilere dayanır ( URL-6, 2024).

Plüviyograf: Yer yüzeyine düşen yağışın direk olarak miktarının ölçülmesi esasına dayanmayıp bunun yerine bir diyağrama kaydedilmesini sağlayan cihazdır. Bu nedene otomatik olarak kayıt yapan yazıcı plüviyometre olarak da adlandırılmaktadır. (URL-7, 2024). Yaygın olarak üç tipi kullanılmaktadır, bunlar;

- Terazili yağış ölçer: Yağan yağıştan sonra kabın içinde biriken yağmurun ağırlığının ölçülmesi ile yeryüzüne düşen yağış miktarı hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Ölçüm süreci sürekli olarak yapılır. Teknolojik imkanların artmasıyla bu cihazı kullanmak eskiye nazaran daha fazla kolaylaşmıştır. Elektronik tartılar sayesinde yapılan tartımlar sürekli kayıt altına alınmaktadır. Bunun yanında yağan yağmurun biriktirilmesi söz konusu olduğundan biriken yağışın kimyasal özellikleri hakkında da bize bilgi verebilmektedir. Bu cihazın en büyük dezavantajı biriken yağmur suyunu kendi kendine boşaltma gibi bir özelliği bulunmamasıdır. Bu da boşaltmanın doğru zamanda yapılması için sürekli takip edilmelidir.
- Devrilen kova tipi yağış ölçer: Bu ölçüm cihazı ise yağışla birlikte dolan kovaların boşalma zamanını ve sayısını kayıt altına almaktadır. Çoğunlukla bu ölçüm de iki kovadan oluşan bir sistem kullanılmaktadır. İlk kova dolduktan sonra hemen ikinci kova onun yerine geçmektedir. Her kova değişiminde süreç yeniden başlatılıp cihaza bir sinyal

gönderilir. Cihaz bu sinyal sayesinde yağışın başlangıcını ne kadar sürdüğünü ve miktarını kayıt altına almaktadır.

Ölçüm sırasında kapların boşaltılabilmesi için başka birinin bulunmasına gerek yoktur. Biriken su alt tarafında kendi kendine tahliye edilir. Yağışın karakteri hakkında da bize bilgi vermektedir. Çeşitli avantajları bulunmasına rağmen diğer ölçüm cihazları kadar hassas olmaması en büyük dezavantajlarından biridir. Önceden kovada yağmur suyu varsa ve otomatik boşaltma yapılmamış ise bir sonraki yağışta üzerine gelir ve bu da ölçümlerin hatalı olmasına sebep olur.

Standart yağış ölçer: Günümüzde çoğu rasat için tercih edilen bir cihazdır. Cihazın parçaları azdır. Bir ölçüm silindiri, huni ve toplayıcı olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. Bunlarla birlikte bazen yağışın miktarının fazla olacağı öngörülen yerlerde geniş bir kapta kullanılır. Kapta biriken su milimetrik olarak derecelenmiştir ölçüm silindirine dökülerek yağmur suyunun miktarı belirlenebilmektedir.

Yağış miktarının tespitinde radarlardan da istifade edilmektedir. Yağışın radar ile ölçümünde, mekanizmanın çalışma biçimi cihazdan gönderilen elektromanyetik dalgaların önünde bulunan hedeflere çarparak geri gelmesi esasına dayanmaktadır. Elektromanyetik dalgaların yağmur zerrecikleri, dolu ve kar gibi çeşitli parçacıklara çarpıp geri gelmesi ve bunun radar yazılımı ile kayıt altına alınıp değerlendirilmesi işlemidir. Radarların kapsama alanı ve hava kütleinin hızı dikkate alındığında radarlar ile ancak gelecek birkaç saat için öngörü yapılabilmektedir. Uzun vadeli kava tahminlerinde avantajlı değildir. Yağış başladıktan sonraki 30-60 dakika içerisinde gerçekleşecek yağış miktarının tahmini söz konusu olduğundan, can ve mal kaybına neden olabilecek sel ve taşkın afetlerinin önceden belirlenebilmesi ve önlem alınmasına imkan sağlaması açısından oldukça faydalıdır. Ayrıca konvektif yağışların tespitinde de başarılıdır.

Sifonlu yağış ölçerde ise su seviyesi yüksekliği bir şamandıranın hareketiyle tespit edilir. Yağan yağışın yüksekliği sifonu geçince, sifon çalışmaya başlayarak kabın içindeki suyu boşaltmaya başlamaktadır

Son yıllarda uydu sensörleri de özellikle okyanus bölgelerinde küresel iklim değişikliği ve yağış niteliği ve karakterizasyonu arasındaki bağıntıyı oluşturabilmek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem uydu sensörlerinden elde edilen verilerin çeşitli modeller kullanılarak miktarsal olarak tahmini esasına dayanmaktadır. (Yılmaz, 2010).

### 3. 2. Buharlaşma

Yeryüzünde bulunan sıvı moleküllerin taneciklerinin arasındaki çekim kuvvetinin azalması ile sıvı formundan gaz formuna geçmesine buharlaşma denilmektedir (URL-4, 2021).

Buharlaşma olayı sürekli olarak gerçekleşen hidrolojik çevrimin bir parçasıdır. Her türlü su yüzeylerinden %90 oranında buharlaşma gerçekleşirken kalan % 10'luk kısım ise bitkilerin terlemesinden oluşmaktadır. Buharlaşma miktarını etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Güneş radyasyonu, suyun özelliği, çevrenin iklim koşullarıve topoğrafik faktörler, basınç ve rüzgar gibi etkenler buharlaşmayı etkilemektedir. Bu etkileşimler enerji etkisiyle olmaktadır. 539-597 kalorilik ısının verilmesiyle 1 gram su, buhar formuna dönebilmektedir.

Buharlaşmayı rüzgâr, konveksiyon veya difüzyonun tesirleri oluşturmaktadır. Eęer ortamda bulunan sıvı havadan sıcak ise dikey yönde yani konveksiyon hareket eder. Bu durum doymuş buhar basıncının altına dūřene kadar devam eder (URL-4, 2021).

#### 3. 2. 1. Buharlaşmayı etkileyen faktörler

Buharlaşmanın olup olmadığı ya da miktarının etkileyen en önemli faktörler bölgenin coğrafı ve güneşe karşı konumudur.

Enlem: Dünyanın şeklinden kaynaklı olarak buharlaşma oranının ne kadar olacağı enlemin derecesi ile yakından ilişkilidir. Tablo 3.1'de verildiği gibi enlem dereceleri ile buharlaşma miktarları değişebilmektedir.

**Tablo 3.1.** Farklı enlem derecelerine sahip bölgelerde meydana gelen yıllık ortalama buharlaşma miktarları (URL- 4, 2021).

| Enlem Derecesi             | Ortalama Buharlaşma (mm/yıl) |
|----------------------------|------------------------------|
| 0° – 10° (Ekvator Bölgesi) | 1150                         |
| 10° – 30° (Alize Bölgesi)  | 2250                         |
| 30° – 40° arası            | 1600                         |
| 40° – 50° arası            | 1000                         |
| 50° – 60° arası            | 450                          |

**Yükseklik:** Mevcuttaki diğer koşullarda değişiklik olmadığı zaman yükseklik artıkça basınç azalmaktadır. Basıncın azalmasıyla birlikte buharlaşma oranında artış gözlemlenmektedir. Bu ilişki aynı zamanda yüksekliğe bağlı olarak sıcaklıkla da bağlantılı olarak değişmektedir. Yükseklik arttıkça hava sıcaklığı düşüklüğünden dolayı da buharlaşma da azalmalar olmaktadır. Lakin yükseklik basınçla artıp, sıcaklığın azalması ile olmuş olsa bile yükseldikçe buharlaşmanın çok az arttığı kabul edilmektedir.

**Bakı:** Dünyamızın konumuyla alakalı olarak güneşe bakan suların güneşe bakmayan sulardan daha fazla buharlaşma gerçekleştirmesi ile ilgili durumlar bakıdan kaynaklanmaktadır (URL-3, 2021).

**Güneş Radyasyonu:** Güneş buharlaşma üzerinde çok etkilidir. Güneş bizim başlıca ısınma kaynağımızdır. Bu kaynaktan gelen radyasyonda buharlaşmayı çok etkilemektedir. Buharlaşmanın miktarını güneş radyasyonunun dışında, güneşin mevsimsel durumu, hava durumu yani havanın açık olup olmadığı, bakı yönü gibi birçok faktör etkilemektedir.

**Hava Buhar Basıncı:** Havada buhar basıncı artıkça buharlaşma miktarında azalma meydana gelmektedir. Havada oluşan su buharı basıncı su yüzeyinde ulaşan buhar başından düşük olduğu sürece buharlaşma devam etmektedir. Lakin eşit olduğunda buharlaşma durur.

**Sıcaklık:** Sıcaklıkta, buhar basıncının değişmesinde en büyük etmenlerden biridir. Havanın buhar doygunluğuna erişip erişmediği sıcaklıkla bağlantılı olarak değişmektedir. Yani sıcaklık hava ve suyu etkilediğinden dolayı buhar miktarını da etkilemektedir. Aslında sıcaklığın artışıyla buhar miktarımızda da artış gözlemlenmektedir. Sabah oluşan buhar ile öğlen oluşan buharın farklı olmasının ana sebebi sıcaklık değişimleridir.

**Rüzgâr:** Rüzgârda buharlaşmanın hızını etkileyen diğer bir etmendir. Rüzgârın artışıyla birlikte buharlaşmada artar. Rüzgâr sayesinde su yüzeyinde oluşan su buharı yer değiştirir ve su yüzeyinde hızlı buharlaşma olur.

**Basınç:** Yüksek yerlerde atmosferik basınç düştüğü için buharlaşma artar. Hava basıncı azaldıkça birim hacimdeki molekül sayısı azalır ve suyun havaya geçme olasılığı artmakta, bu da buharlaşmayı arttırmaktadır. Genellikle, basınçtaki bu değişikliklerin buharlaşma üzerindeki etkisi diğer etkilerle karşılaştırıldığında göz ardı edilebilir (URL-5, 2021).

**Suyun Kalitesi ve Bulunduğu Ortam:** Su kütlesinin büyük mü küçük mü olduğu, bu su kütlesi içerisindeki tuz konsantrasyonu ve kirletici madde miktarı ve cinsi ile su yüzeyinin dalgalı veya duragan olması gibi durumlar buharlaşmayı etkilemektedir.

### 3.3. Sıcaklık Ölçülmesi

Havanın sıcaklığının ölçülmesi için dünyanın her yerinde ve eşit özelliklere sahip cihazların kullanılması gerekmektedir. Dünya Meteoroloji Teşkilatının önerdiği ve nasıl yapılması gerektiği hakkında uyarıları bulunmaktadır. Bu standartlara göre gölgede veya hava akımının var olduğu, yerlerde 1.5 m yükseklikte ölçülmesi gerektiği belirtilmektedir. Sıcaklık ölçmek için kullanılan termometreler de civa veya alkol kullanılmalıdır. Bunun yanında donma derecesinin -112 derece gibi daha düşük olan alanlarda alkol kullanılmasını önerilmektedir.

Dünyanın homojen yapısının olmaması yani sadece karalar veya sadece denizlerden oluşmamış olmasından dolayı sıcaklık farklı dağılmaktadır. Denizlerin ve karaların ısınma ve soğuma prensiplerinin farklı olması nedeniyle dünyamızın farklı bölgelerinde farklı sıcaklıklar görmekteyiz (URL-5, 2021; URL-3, 2021).

#### 4. YAPAY SİNİR AĞI VE UYARLAMALI BULANIK AĞ TABANLI TAHMİN

Bu yeniçağda afetlerin önlenmesi, sayılarının azaltılabilmesi ve etkilerinin hafifletilebilmesi önem taşımaktadır. Bu afetlerin önlenmesi veya erkenden tespit edilebilmesi, risk değerlendirmelerinin daha sağlıklı ve daha iyi şartlar altında yapılabilmesi için yeni teknolojilerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Modern çağın hızla gelişimi ile birlikte internet ortamının sağladığı sonsuz verinin uzaktan algılama ve Bulut gibi çeşitli teknolojiler yardımıyla çoğaltılması sonucunda son yıllarda akıllı sistemler (yapay zekâ) yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapay zekâ araştırmaları ile yapılmak istenen, ürün geliştirme sürecinde, öğrenme yapısının anlaşılması ve benzer bir yapının eğitim sürecinde kullanılabilmesi için bilgi işleme prensiplerinin incelenmesi esasına göre öğrenmenin gerçekleştirilmesidir. Bu süreçte, biyolojik sinir sistemlerinin çalışmasının taklit edilerek algılama, öğrenme, bilgi saklama, bilgi edinme ve karar verme sistemlerinin oluşturulması hedeflenmektedir. Bu noktada yapılan çalışmalar doğrudan doğruya insan beyninin çalışma prensiplerini modelleyen yapay zekâ prensipleri (YSA), uzmanların düşünce biçimini modelleyen yapay zeka yöntemleri (olguya dayalı açıklama) olabilmektedir. Yapay zekâ, makinaların deneyimden öğrenmesini sağladığı için gerekli bilginin insan benzeri görevle gerçekleştirmesini, yeni şartlara bağlı olarak oluşabilecek yeni girdilerin de uygun bir şekilde yorumlanmasını sağladığı için avantajlı bulunmaktadır. Bu durum yapay zekanın hızla gelişmesine ve bugün hayatımızın tüm unsurları içerisinde yer almasına neden olmuştur. Yapay zeka mevcut bilgilerin yenilikçi bir yaklaşımla tekrar değerlendirilmesini sağlamakta ve çok geniş bir kullanım alanı sunabilmektedir. Bu nedenledir ki çoğu sektörde yapay zekâ teknolojilerinin daha kapsamlı bir şekilde uygulanabilmesi için öncelik tanınmalıdır. 1940'ların sonlarında, biyolojik sinir hücrelerinin yapısından ilham alınarak geliştirilen yapay sinir hücre modeli, VE, VEYA ve DEĞİL gibi mantıksal işlemlerin sayısal olarak modellenebileceğini ortaya koymuştur. Bu durum, biyolojik sinir sistemlerinin incelenmesi ve benzer şekilde çalışan yapay sinir ağları modellerinin farklı disiplinlerdeki araştırmacıların ortak ilgi alanı haline gelmesine yol açmıştır (Şen, 2004).

Bu alanda, bilgisayarların işleyişine ve yapısına yeni yaklaşımlar getirmeyi hedefleyen disiplin, daha esnek yeteneklere sahip sistemlerin oluşturulmasını ve belirli bir görevin birden fazla nöronun bir araya gelmesiyle gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Bu hedeflere ulaşabilmek adına, nörologlar, biyologlar, fizyologlar, mühendisler,

matematikçiler, psikologlar ve fizikçiler gibi farklı bilim dallarından uzmanlar, bireysel olarak ya da iş birliği içinde çalışarak akıllı sistemlerin oluşturulmasına katkıda bulunmuşlardır. Yapay zeka araştırmacılarının temel hedefi; insan benzeri düşünen ve davranan sistemler geliştirmektir. Bununla birlikte, geleneksel programlama yöntemleriyle bu yeteneklerin gerçekleştirilmesi oldukça zor olduğundan, çalışmanın odak noktası rasyonel düşünen ve davranan sistemlerin tasarlanmasına yönelmiştir (Esen, 2007).

Yapay sinir ağları, sinir sistemi ile ilgili bilinen bazı bulguların teknoloji ve bilimsel araştırma yöntemlerine uygulanmasıyla ortaya çıkmıştır (Şen, 2004). Yapay sinir ağlarının temelinde, sinir ağlarının yapısının bulunması bulunmaktadır, nöron analizi sistemin en temel parçasıdır. Nöronlar, değişik şekil ve büyüklükte olmalarına rağmen temel bileşenleri hepsinde aynıdır.

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin öğrenme sürecini taklit ederek bilgisayar ortamında insan beyninin yaptığı işleri gerçekleştirebilen, kararlar alabilen ve sınırlı veri durumlarında dahi mevcut veriyi kullanarak sonuçlara ulaşabilen, öğrenme, hatırlama, genelleme yapma ve mevcut verilerden yeni veri üretebilme gibi işlevleri gerçekleştirebilen mantıksal bir programlama tekniğidir (Partal, 2007; Öztürk ve Şahin, 2018).

Yapay Sinir ağlarında tıpkı insan beynindeki biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri gibi sinir hücreleri bulunmaktadır. Bu ağlar, mühendislik biliminde proses elemanları (yapay sinir hücrelerinden) olarak adlandırılmış olup, birbirleri ile bağlıdır. Bağlı olan her bağlantının ağırlık değeri bulunmaktadır. Yapay sinir ağları, tipik hesaplama yöntemlerinden farklı bir yaklaşım sunmaktadır. YSA'da sinir hücrelerinin katmanlar şeklinde bağlanmasıyla veri tabanlı sistemler oluşturulmaktadır. İnsan beyninden ilham alan yapay sinir ağları, deneyerek öğrenme ve genelleme yapabilme yeteneğine sahiptir (Hamzaçebi ve Kutay, 2004). YSA, girdi ve çıktı değişkenleri arasında herhangi bir varsayımda bulunmadan, doğrusal olmayan modeller oluşturabilmektedir. Ağa, girdi verileri ile onlara karşılık gelen çıktı verileri sunulur ve ağın bu ilişkiyi öğrenmesi sağlanarak ağ eğitilir. Bu öğrenme yöntemi genellikle tercih edilen bir yöntemdir ve öğretici öğrenme olarak adlandırılır. Böylelikle insan beyninin öğrenme ve farklı çevresel şartlar altında karar verebilme, uygulamaya koyma ve benzeri yeteneklerinin temel modeller yardımıyla bir insan için çözmesi zor olan karmaşık problemlerin çözülmesinde kullanılması hedeflenmiştir (Ataseven, 2013).

#### **4. 1. Tahmin**

Bir durumun veya verinin değişik durumlar karşısında oluşturabileceklerini önceden kestirmeye tahmin denilmektedir. Bu durum çevremizde bulunun her alanda karşımıza çıkabilecek bir durumdur.

Tahmin etme bir işe başlamadan önce oluşabilecekleri önceden kestirmeye ve oluşabilecek sorunlara karşı önlem alarak sorunları en aza indirmek için kullanılmaktadır. Tahmin; bir durumun ortaya çıkarabileceği tüm sorunların düşünölüp, bir risk oluşturmadan sorunların çözüm yollarının bulunmasını sağladığından çözümünü kolaylaştırılmaktadır. Tahmin yapmak için kullanılan sistemi iki aşamada incelemek daha doğru olacaktır. Bunlardan birincisi model oluşturma, ikinci ise tahmin aşamasıdır. Yapılan modelin doğru bir şekilde seçilip öngörölmesi işlerin doğru bir şekilde başlamasına vesile olur. Çünkü model üzerinden tahmin işlemleri yapılp öngörülerde bulunuruz (Arslanoğlu Işık, 2012).

##### **4. 1. 1. Tahmin Metotları**

Tahmin yöntemleri, nicel ve nitel teknikler olarak iki grupta incelenebilir. Her iki tahmin yöntemi de ilgili değişkene ait gözlemlere dayanmaktadır.

Bunlardan nicel tahmin yöntemleri nitel tahmin yöntemlerinden daha bilimsel bir yöntemdir. Sayısal veriler ve matematiksel modellere göre şekillenen bir yöntemdir. Verilerin yeterli sayıda olması gerekmektedir. Nicel tahminin doğru ve düzgün bir şekilde işlev görmesi için belli başlı şartlar vardır. Bu şartlardan birincisi geçmişte bu duruma benzer olayların yaşanıp bu yaşamlardan tecrübelerin olması, ikincisi de bu olayların sayısal veri olarak dönüştürölmesidir. Bu yöntemle geçmişteki verilerin analizi ile gelecek ile ilgili öngörü yapılabilir. Bu tahminlerin yapıldığı iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Birincisi sebep-sonuç ilişkisine dayanan modellerdir, diğeri ise zaman serisi analizine dayalı modellerdir.

Sebe-sonuç ilişkisine dayanan tahmin modellerinde ise sebe-sonuç ilişkisinde önemli olan iki parametre; açıklayıcı ve açıklanandır. Bir diğer ifade ile tahmin edilmek istenen etkeni, kendisini etkileyen faktörler ile ilişkilendirmektir. Böylelikle bu ilişkinin matematiksel modeli oluşturulabilir. Bu yöntemler arasında en çok tercih edilenler; regresyon tekniği ve korelasyon tekniğidir.



Çok fazla değişkenin üzerinde yapılan regresyon tekniği, değişkenlerin arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak formüle etme yöntemidir. Bu yöntem yapılırken bu analizden etkilenen ve etkileyen değişimler vardır. Bunun haricinde etkileyen değişken, açıklayan değişken diye adlandırılırken, etkilenene ise açıklanan değişken denilmektedir. İkisinin arasındaki önemli fark ise bağımlı değişkenin gelecekte alabileceği değer iken bağımsız değişkende gelecekteki durumunun tahmini ile ilgilidir. İkisinin ortak noktası ise geçmiş değerlerle şekillenmesidir.

İkinci teknik ise korelasyon tekniğidir. Korelasyon analizi değişkenler arasındaki ilişkinin derecesini ortaya koymaktadır. Birçok modelin birbiri ile olan ilişkisi kullanılarak oluşturan denklemlerdir. İlk teknikten farklı olarak bağımsız ve bağımlı verilerin aynı zamanda araştırılması gerekmektedir. Bu yöntem diğer yöntemlere nazaran daha gerçekçidir.

Zaman serisi analizine dayalı tahmin modellerinde, bir zaman serisinin tahmininde bulunmak için geçmişte var olan durumların araştırılması ve serinin özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bulunan verilerden modeller ortaya konulmaktadır. Oluşturulan modellere göre geçmiş verilerin gelecekte de olacağı varsayılarak tahminler yürütülmeye çalışılmaktadır.

Nitel tahmin yöntemi, kişiye özgü bir yöntemdir. Tahminde bulunacak kişinin düşüncesine bağlıdır. Yapılan yöntemin başlıca olumlu tarafı fazla çaba ve zaman gerektirmemesidir. Aynı zamanda uygulanabilirliği de kolaydır. Bazı durumlarda nitel tahmin yöntemini kullanmak zorunlu olarak gerekmektedir. Bir ürünün pazarlanması için taleplerin, isteklerin ne olacağı hakkında bilgisi ve düşünceleri olan bir karar vericinin kişisel görüşlerinden yola çıkarak tahminin yapılması gerekebilmektedir (Hamzaçebi, 2011).

#### **4. 2. Yapay Sinir Ağları**

Yapay sinir ağları bizim biyolojik sistemimiz gibi karmaşık olarak çalışan bir yapıdır. Bilgi işleme, taklit ederek öğrenme, genelleme yapma, hatırlama gibi unsurları barındırmaktadır. Birçok alanda başarılı bir sistem olarak kabul edilmektedir. Sınıflandırma, tahmin gibi birçok alanda güzel sonuçlar vermektedir. Deneme yanılma yoluyla hem öğrenip hemde genelleştirebilmektedir. YSA bilgiyi depolama ve kullanma gibi özellikleri olan bir işlemci olarak ta tanımlanmaktadır. İki özelliğiyle insan beynine

çok benzetilmektedir. İlki bilginin ağılar aracılığıyla öğrenilmesi ikinci ise sınırlar arasında bağlarla bilgilerin depolanmasıdır.

Yapay sinir ağları, insanların hücre sisteminden farklı olarak yapay sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Matematiksel modellemesi aşağıda bulunan özelliklerini taşımaktadır.

- Nöron denilen yapılar sayesinde bilgi işlemleri yapılır.
- Nöronlarda bulunan bağlar ile uyarılar gönderilir.
- Nöronlarla gönderilen verilerin girdi ve çıktısı aktivasyon fonksiyonundan işlenmesi ile elde edilir.
- Her bir nöron arasındaki bağlantıların ağırlıkları vardır.

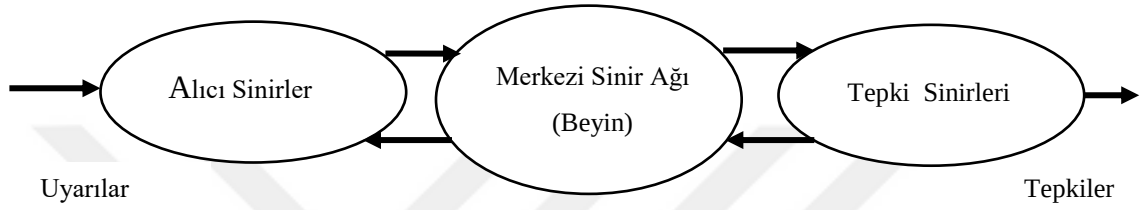
Yapay sinir ağlarının oluşturma isteği insan, insan beyni gibi işleyen dijital bilgisayarların modellenmesi gerçeğinde var olmuştur.

1943'te bir nörobiyolojik olan Walter Pitts ve Warren McCulloch "Sinir Aktivitesinde Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap" ile ilgili makale ile dijital bilgisayarlara öncülük etmişlerdir. Uzman sistemlerin doğuşu ve makroskobik zekânın ortaya çıkması ise Hebb ve Marvin Minsky sayesinde olmuştur. Bernard Widrow Stanford Üniversitesi'nde çalışırken 1959'da adaptif bir lineer elemanın bulunup geliştirilmesine öncülük etmiştir. Fakat yapay zekâ alanı 1956'ya kadar resmi olarak oluşturulamamıştır. 1956'da Hannover, New Hampshire, Dartmouth College'da yapılan bir konferansta "yapay zekâ" terimi ilk defa ortaya atılmıştır. Teuvo Kohonen öğrenme ile birlikte birleşik havzalar üzerine Helsinki Teknik üniversitesinde 1970'te çalışma yapmıştır. Karanlık dönem olarak anılan 1969-1982 yılları arası ise karanlık dönem olarak adlandırılmıştır (Tosun, 2007).

YSA'da oluşan aksaklıkların giderilmesi ile 1980'li yıllardan sonra ilgi artmıştır. Yeni tanımlamalarla kullanım alanlarının genişlemesi gibi birçok ilerleme kat edilmiştir. YSA'nın dönüm noktası ise John Hopfield'in yaptığı çalışmalardır. Yapay zekâ konusundaki çalışmaları güçlendiren yeni gelişmeler her geçen gün artmaktadır. Yapay zekâ teknikleri hızla gelişmeye devam etmektedir. Her geçen gün yeni ürünler ortaya çıkmakta ve günlük hayatta daha fazla kullanılmaktadır (Goldberg, 1989).

#### 4.2.1. Biyolojik ve yapay sinir ağı sistemleri

İnsanlarda bulunan sinir sistemi, Şekil 4.1'de görüldüğü gibi tepki sinirleri, alıcılar ve beyin olmak üzere üç parçada incelenebilir. Tepki sinirleri çevre ile etkileşimi meydana getirirken, alıcı (örneğin, retina üzerindeki fotonlar) ise çevreden bilgileri toplamayı yerine getirmektedir. Şekil 4.1'deki oklar ise bilgi ile birlikte aktivasyon akışını göstermektedir.



**Şekil 4.1.** Sinir sistemi

Yapay sinir ağlarının temel yapısı, insan beyni gibi sinir hücrelerinden oluşmaktadır. Sinir hücresi, Şekil 4.2'de gösterildiği gibi, sağlıklı bir bireyin karmaşık ve kompleks beyin yapısını oluşturur. İki nöron arasında; dentritler, aksonlar, hücre gövdeleri (soma) ve sinapslar olmak üzere dört önemli bölüm bulunmaktadır.

**Akson:** Verilerin hücreden hücreye verilerin iletmeye sağlayan uzantılar denir. Her bir hücrenin tek bir uzantısı bulunmaktadır. Fakat bu tek uzantıların uçları çok sayıda bulunmaktadır ve bu uçlarda sinaptik bağlantıları vardır.

**Hücre Gövdesi (Soma):** Nöronun gövdesine verilen adlandırma soma olarak adlandırılmaktadır. Soma, hücrenin yaşamasal işlevlerini sağlar. Soma nükleus adı verilen hücre çekirdeğini içermektedir. Nöronların çıktısı, sinapsların etkisiyle hücreye iletilen tüm girdilerin toplam değerine bağlı olarak, çıktının elektriksel yoğunluğu belirlenir. Hücreye gelen verilerin ağırlıklı toplamı akson boyunca iletilir ve çıktı oluşturmak için bir "eşik değeri"ne ulaşır. Böylece nöron, girdileri değerlendirerek çıktıya dönüştürür.

**Dendrit:** nöronun şekilsel olarak ağacı andıran fakat görevi hücre girdilerinin düzgün işlenmesidir.



**Şekil 4.2.** İnsan sinir hücresi (Çilliyüz, 2006).

Sinaps: Aksonların, sinir hücrelerinin dendritleri üzerindeki özel bağlantı noktalarıdır. Ana görevleri elektriksel verileri başka hücreler aktarmaktır. Hücrede bulunan sinapslar bağlantı kurdukları nöronlarda veya dindirtlerde elektrik kuvvetinde bulunun pozitif ve negatif olarak etkileyebilmektedir. Bunun sayesinde nöronların birbiri ile etkileşimini sağlamaktadır. Gelen sinyaller sinapslar tarafında ya güçlendirilir yada zayıflanırdılar. Hücrede bu değişime göre iletiler almaktadır. Güçlü gelen sinyale aktifleşirken zayıfta pasif davranır.

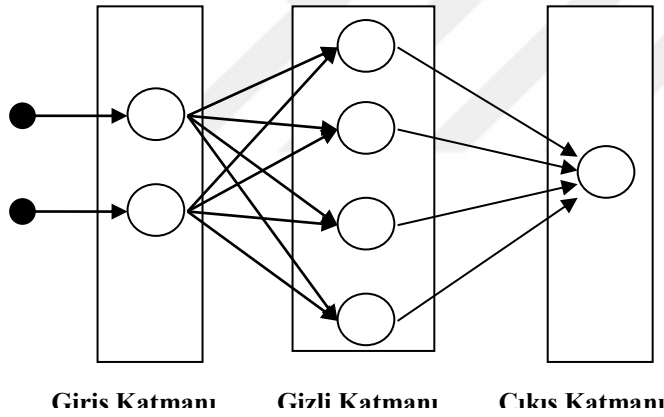
Çok fazla veri hücreye gelmesine rağmen tek bir çıkış verilmektedir. YSH yani yapay sinir hücreleri insan hücresinin kopyasının oluşturulmak istenmesidir. Birçok işlem elemanların birleşmesiyle oluşmuştur. Tablo 4.1’de bu benzerlikler görülmektedir.

**Tablo 4.1.** Bir sinir sistemi ile YSA’nın benzerlikleri (Arslanoğlu Işık, 2012).

| Biyolojik Sinir Sitemi | Yapay Sinir Ağı sistemi     |
|------------------------|-----------------------------|
| Dentrit                | Toplama fonksiyonu          |
| Akson                  | Eleman çıkışı               |
| Sinir                  | Yapay sinir (İşlem elemanı) |
| sinapslar              | Ağırlık                     |
| Sinapslar              | Transfer fonksiyonu         |

Bazı durumlarda bir işlem elemanı kendisine de bilgi geri gönderebilmektedir. Bahsedilen bu bilgiler elemanlar arasında bulunan bağlantı hatları üzerinde depolanmaktadır. Her bağlantının bir ağırlığı vardır. Bu ağırlık bir işlem elemanının diğeri üzerindeki etkisini göstermektedir. Ağırlık büyüdükçe etki de büyümektedir.

YSA, yapay sinir hücrelerinin gruplanması ile oluşmuş sistemin adıdır. Bu gruplandırma katmanları oluşturmaktadır. Dolayısıyla YSA'da birbirine bağlı katmanlardan meydana gelmektedir. Şekil 4.3, bir YSA yapısını göstermektedir. Bu yapıda da görüleceği üzere YSA'lar, gerçek dünyadan verileri alan nöronların bulunduğu girdi katmanından, ağın sonuçlarını dışarıya veren nöronların oluşturduğu çıktı katmanından ve bu iki katman arasındaki bir veya daha fazla gizli katmandan oluşmaktadır. Şekil 4.3'de tek yönlü ağların olduğu, bir katmandaki bilgilerin sadece bir sonraki katmana geçtiği ve yine bir katmandaki işlem elemanlarının bir sonraki katmana tamamen bağlandığı bir ağ yapısı gösterilmiştir. Çok bilinen geriye yayılım ağı (ileri beslemeli, katmanlı ağ) modeli bu tür yapıya örnek olarak verilebilir (Esen, 2007).



**Şekil 4.3.** YSA'ların genel yapısı (Mermer, 2007).

Eğitici öğrenme yardımıyla eğitilen ileri beslemeli bir ağda, bir giriş, giriş vektörüne verilir ve çıkış olarak bir çıkış vektörü elde edilmektedir. Amaç, ağın her bir giriş vektörü için istenilen çıkış vektörüne yeterince yakın bir cevap üretmesini sağlayacak ağırlık vektörlerini belirlemektir. İleri beslemeli ağlar, biyolojik sistemlere uygun olmayan eğitim algoritmalarına sahip olmalarına rağmen, son zamanlarda geliştirilen öğrenme uygun ve algoritmalarıyla yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

İleri beslemeli bir ağı çıkışı hesaplamak için, girişten çıkışa doğru hesaplamalar yapılır. Burada,  $j$ . düğümün net girişi  $u_j$ , ağırlıklar  $w_{ji}$  ise bir lineer fonksiyonu temsil etmektedir.

$$u_j = \sum_i x_i w_{ji} + b_j \quad (4.1)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Net girişin lineer olmayan fonksiyonu olan  $v_j$ ,

$$v_j = \frac{1 - e^{-u_j}}{1 + e^{-u_j}} \quad (4.2)$$

İle elde edilir. Ara katman çıkışı  $v_j$  ile çıkış düğümü arasındaki ilişki doğrusaldır. Ağ çıkışı,

$$y = \sum_j v_j w_j^2 + q \quad (4.3)$$

Şeklinde ifade edilir. Giriş değerlerinin başlangıç ağırlıkları, öğrenmeyi kolaylaştırmak için polarize edilir. Başlangıçta, tüm ağırlıklara karmaşık, rastgele ve küçük değerler atanır. Bu, ağı ağırlıkların aşırı büyüklükte olmasını ve simetrisini bozmasını engeller. Giriş tabakasına  $x_1, x_2 \dots x_n$  giriş vektörü uygulanır ve (4.1) - (4.3) denklemleri kullanılarak ağ çıkışları  $y_1, y_2 \dots y_m$  hesaplanır (sigmoid fonksiyonu aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmıştır).

Katmanların boyutlarına genel bir değer biçmek mümkün değil. Giriş ve çıkış katmanlarının boyutu uygulamaya özeldir. Aradaki katmanın boyutu ise genellikle giriş katmanından büyük olmalıdır, ancak kesin değildir. Aradaki katmandaki hücre sayısı az ise, giriş değerlerinin özelliklerini doğru bir şekilde çıkaramayabilir. Aşırı hücre seçimi ise soyutlama ve genelleme hatalarına yol açabilir. Bu sorunun en iyi çözümü orta bir değer seçmektir (Arslanoğlu Işık, 2012).

YSA'nın esas nitelikleri; paralel dağılmış yapısı, doğrusal olmayan yapıları modelleyebilmesi, çeşitli problemlere uyarlanabilme yeteneği, öğrenme ve genelleme becerisi ve hata toleransına sahip olması sayılabilir.

**Doğrusal Olmama:** YSA aktivasyon fonksiyonları sayesinde doğrusal olan ve dorusal olmayan modellerin oluşmasını sağlanabilmektedir. Doğrusal olmayan ilişkilerin çözülmesi önem taşımaktadır. Çünkü doğrusal olmayan ilişkiler çok fazla karışımza çıkmaktadır.

**Genelleme:** Sisteme tanıtılan verilerin haricinde sisteme verilen diğer verilerinde düzgün bir şekilde işlenmesine genelleme denir. Birçok alanda başarılı sonuçlar vermektedir.

Uyarılana bilirlilik: Önceden başka problemler için eğitilse bile yeni verilere göre de şekillendirilebilmesidir. Bu durum uyarılama ve yeniden eğitilme yeteneğinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Öğrenme: YSA’da bir model oluşturmak amacı ile verilen verilerin yapısındaki saklı ilişkileri ortaya çıkarmak amaçlanmaktadır. Bunun gerçekleştiği işlem ağın öğrenmesi olarak tanımlanan ağırlıkların belirlenmesi adımıdır (Hamzaçebi, 2011). Yapay sinir ağlarının farklı özellikleri, farklı uygulamalara göre değişmektedir.

Yapay sinir ağları, aşağıdaki üstünlükleri veya özellikleri ile birçok farklı mecrada uygulanmaktadır.

- Bilginin saklanması olanak sağlar.
- Matematiksel model oluşturmak ihtiyacı duymazlar.
- Yapay sinir ağları örneklerinden yararlanarak öğrenirler.
- Öğrenme algoritmaları vardır ve farklı öğrenme kabiliyetleri ile öğrenirler.
- Daha önceden görülmemiş örnekler hakkında da bilgi üretebilirler.
- Bunun dışında eksik bilgi ile çalışabilmektedirler.
- Şekil (örüntü) sınıflandırma ve ilişkilendirme yapabilirler.
- Görülmemiş örnekler hakkında yeni durumlara adapte olarak ve bilgi üretebilirler

YSA’nın, probleme en uygun ağ yapısını deneme yanılma yolu ile belirlemesi ve donanım bağımlı olarak çalışması en önemli iki dez avantajını oluşturmaktadır. (Yavuz ve Deveci, 2012).

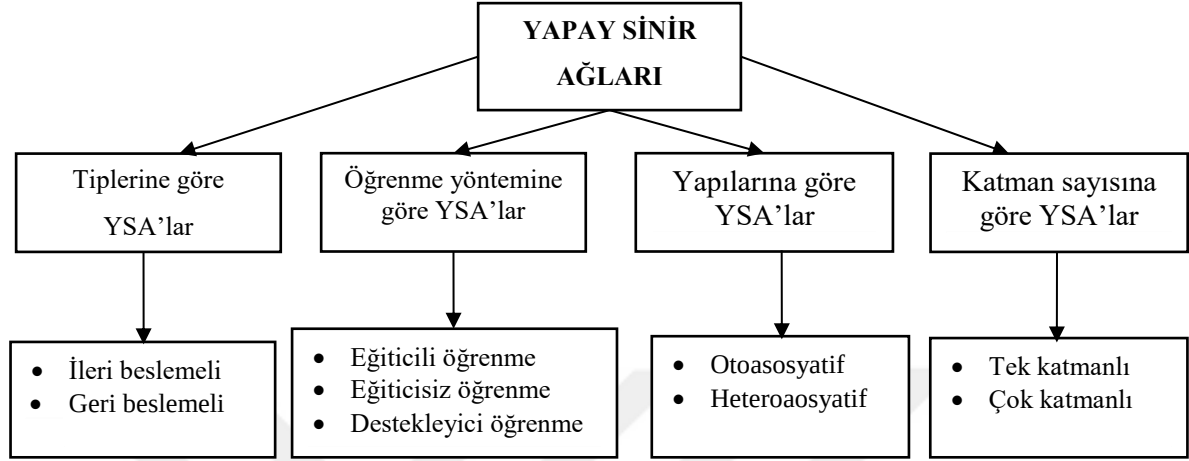
#### **4.2.2. YSA türleri**

Yapay Sinir Ağları; katman sayılarına, öğrenme biçimini, tiplerine, yapılarına durumuna göre sınıflandırılmaktadırlar. Şekil 4.4’te verilen yapay sinir ağlarının sınıflandırılması gösterilmektedir.

Yapay sinir ağları nöronların birbiri ile bağlantısının durumuna göre ileri beslemeli ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılmaktadır.

1. Geri Beslemeli Ağlar: Veri girdilerinin sadece ileriye doğru değilde geriye doğru da çalışabileceği ağ yapısı olarak tanımlanır. Bunun yanında ağ çıktısı eş zamanlı olarak ağ girdisi olarakta kullanılabilir.

2. İleri Beslemeli Ağlar: Bu ağ yapısında geri besleme yoktur. Verilerin girdiden çıktıya doğru tek yönlü iletimi söz konusudur.



**Şekil 4.4.** Yapay sinir ağlarının sınıflandırması (Arslanoğlu Işık, 2012).

Öğrenme Yöntemine Göre YSA'lar: YSA'nın ana özelliği öğrenme yeteneğini olduğundan öğrenme yeteneğine göre de YSA sınıflandırmak mümkündür. YSA içinde bulunduğu çevre tarafından uyarılmaktadır. Bu uyarıların sonucu YSA, ağırlıklarında bazı değişiklikler yapmaktadır. Bu değişiklik önceden belirlenmiş bazı kurallara göre gerçekleşmektedir. YSA iç yapısındaki değişikliklerin sonucu olarak çevresine bir çıktı vermektedir.

Eğitici öğrenme, “Kendi kendine öğrenme” olarak da adlandırılır. Ağ birbirine benzeyen girişlerin hangi gruba ait olduğu ve gruplanmasını yapmaktadır. Buna ek olarak çıkış verilerinin bilinmesine gerek yoktur. Giriş verileri yeterlidir. Ağın eğitimi giriş verilerinin üzerinde yapılmaktadır.

Eğitici öğrenmedeki ana amaç verilen çıkış verisine en yakın çıkışların elde edilmesidir. İstenilen değerler ile gerçekte var olan değerler arasındaki farklara hata denilmektedir. Hata oranlarının azaltılabilmesi için ağırlıklar değiştirilir.

Destekleyici öğrenme eğitici öğrenme için önemli bir unsurdur. Burada dikkat etmemiz gereken giriş verilerine karşı çıkış verilerinin değerlerine gerek duyulmadığıdır. uygun ve ona göre ayarlanmasıdır. YSA'ya bir hedef verilmemekte fakat elde edilen çıkışın verilen girişe karşılık uygunluğunu değerlendiren bir kriter kullanılmaktadır. (Sağıroğlu ve ark., 2003).



Taban yapılarına göre iki sınıfa ayrılabilen sinir ağları, heteroasosyatif ve otoasosyatif olarak incelenebilir. Heteroasosyatif sistemler farklı girdi ve çıktı nöronlarının bulunduğu yapıları ifade eder. Örneğin, algılayıcı, çok katmanlı algılayıcı ve Kohonen ağları bu sınıfa örnek gösterilebilir. Otoasosyatif ağlar ise, girdi nöronlarının aynı zamanda çıktı nöronu olarak görev yaptığı ağlar olarak tanımlanır. Hopfield ağları, bu sınıfa örnek olarak gösterilebilir (Hamzaçebi, 2011).

#### **4.3. YSA'ların Uygulama Alanları**

Teknoloji, zaman içinde hayatımızın her alanına nüfuz etmiştir. Mühendislik başta olmak üzere bankacılık, otomotiv, enerji, elektronik, uzay bilimleri, finans ve askeri alanlarda önemli bir rol oynamaya başlamıştır. (Öztürk ve Şahin, 2018).

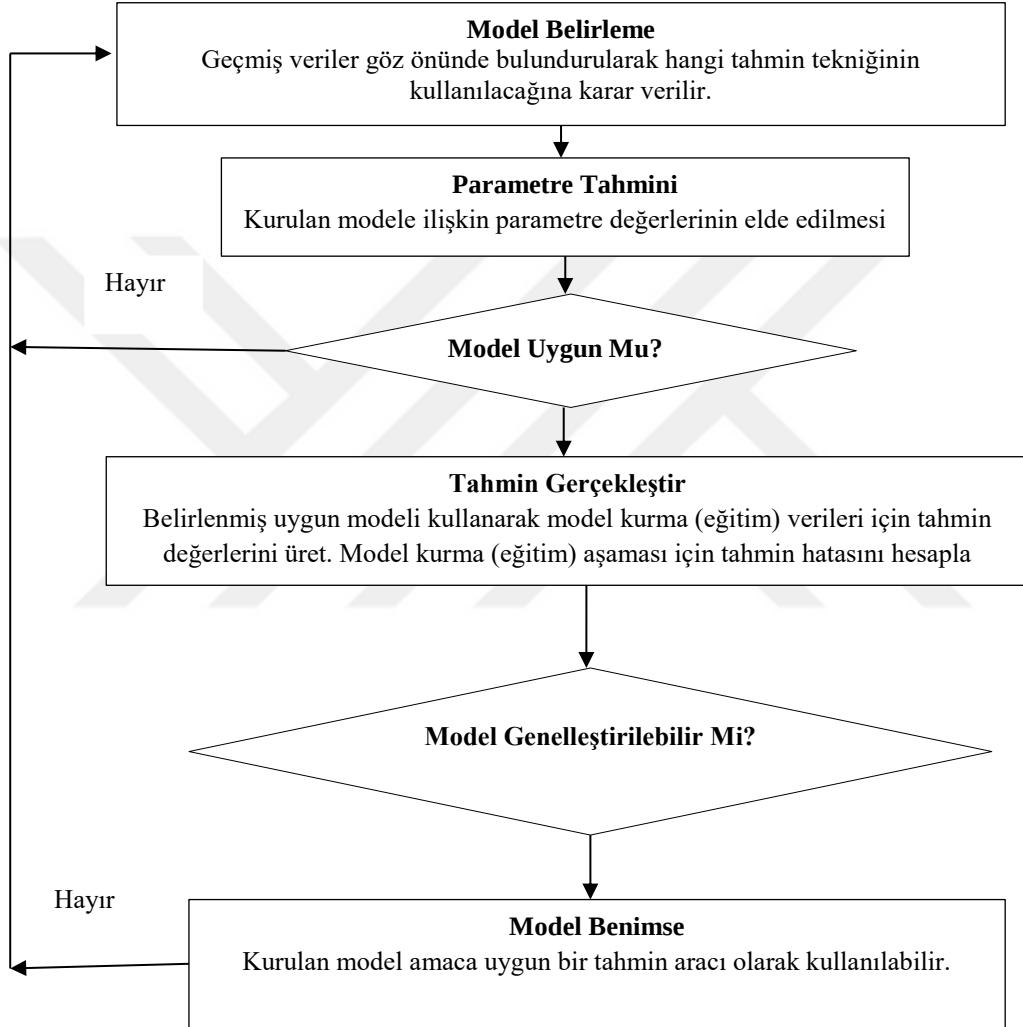
İnsansı robotların popüler hale gelmesiyle birlikte bu alana olan ilgi artmaktadır. Yapay sinir ağları; sağlık ve tıp hizmetlerinde veri madenciliğinde (Gönül ve ark., 2015; Koyuncugil ve Özgülbaş, 2009; Güllüoğlu, 2011), trafik kontrolünde (Altun ve Dündar, 2005; Gökaşar ve Dündar, 2018), meteorolojik verilerinin tahmininde (Partal, 2007; Behrang ve ark, 2010; El-Mahdy, 2021; Mao ve ark, 2021; Hüsrevoğlu, 2023; Ertürk ve ark., 2023; Alp ve Cıgızoğlu, 2004; Doğan ve ark., 2007; Gümüş ve ark., 2018; Gümüş ve ark, 2013; Kumaş ve ark., 2019; Saphioğlu ve Çimen, 2010; Şahin, 2007; Turğut ve ark, 2029 ), akarsu kalite parametrelerinde (Minarecioğlu, 2008; Gökçe, 2009; Yıldırım ve ark, 2019), göl suyu kalite parametrelerinde (Dede, 2009; Croft ve Chow-Fraser, 2007; Öcal, 2007; Güneş, 2010), hava kalitesinde (Söyler ve Kızılkaya, 2023; Öklü ve Canbay, 2023; Cesur ve Efe, 2023) ve daha bir çok alanda (Yavuz ve Deveci, 2012; Türk ve Kiani, 2019), yaygın olarak kullanılmaktadır. İnşaat Mühendisliğinde de (Tuzcuoğlu, 2003; Bayraktar ve Özkal, 2016; Ülker ve Civalek, 2002; Özsoy ve Fırat, 2004) çok geniş bir alanda kullanılmaktadır.

Her ne kadar sağanak yağışların ölçülmesi zor olsa da şiddeti ve süresi çok düşük yağışların ölçülmeside zordur. Bu nedenledir ki Yapay Sinir Ağları yağışın en iyi şekilde modellenmesinin yöntemidir. YSA modeliyle yapılan ölçümler daha doğru ve diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında daha avantajlıdır (Öztopal, 2007; Öztopal ve Şen, 2009).

Yağış miktarını tahmin etmek içinde YSA'larından faydalanılmaktadır. Rüzgâr şiddeti, bağıl nem, su buharı basıncı, hava basıncı gibi girdi değerlerine karşılık yağış değerleri tahmin edilebilmektedir

#### 4. 3. 1. Tahmin aşamaları

Modelleme önemli bir aşamasıdır. Tahminlerin doğru olması için belli başlı kurallar vardır bu kurallarda Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. İyi bir tahmin için gerekli aşamalar (Hamzaçebi, 2011).

#### 4.4. Uyarlamalı Bulanık Sinirsel Ağlar (UBSA)

Yapay zeka yöntemleri arasında bulanık mantık, sinir ağları, genetik algoritmalar ve uzman sistemler gibi teknikler bulunmaktadır. Örneğin, sinir ağları özellik tanımda etkili olabilirken, karar verme sürecinde zayıf kalabilmektedirler. Bulanık mantık ise karar

verme konusunda başarılı olabilir ancak kural oluşturmada yeteneksiz olabilir. Sinirsel bulanık mantık yaklaşımı, sinir ağlarının öğrenme kabiliyeti ve en uygun çözümü bulma yeteneği ile bulanık mantığın insan benzeri karar verme ve uzman bilgisi sağlama kolaylıklarını bir araya getirmektedir. Sonuç olarak, sinir ağlarına insan benzeri karar verme ve uzman bilgisi sağlama yeteneği kazandırılırken, bulanık denetim sistemlerine sinir ağlarının öğrenme ve hesaplama gücü verilir. Modern sinirsel bulanık sistemler genellikle ileriye beslemeli ve çok katmanlı yapıdadır. Son yıllarda, birçok yayında ANFIS, FALCON, FuNe, RuleNet, GARIC, NEFCLASS, NEFCON, NEFPROX gibi isimlerle anılan sinirsel bulanık sistemlerinin kullanan çalışma gözlemlenmiştir.

Uyarlamalı ağlar, bulanık mantık ve çok katmanlı algılayıcılar, genelde hesaplamaları gerçekleştirmek için kullanılan özel yöntemlerin örnekleridir. Her iki model de geriye yayımlı ağların öğrenme özelliğinden faydalanırlar. Bulanık çıkarım sistemleri, uyarlamalı ağların işlevsel bir sınıfıdır ve genellikle ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) olarak adlandırılırlar. Bulanık mantık sistemleri, ANFIS, bulanık çıkarım sistemleri veya uyarlamalı sinir ağları olarak adlandırılır. Bazı kaynaklarda ANFIS, Takagi-Sugeno-Kang (TSK) bulanık kuralları ve sinirsel bulanık denetleyici olarak da geçebilir. Bu sistemler ayrıca karma sinir ağları olarak da bilinir ve bulanık çıkarım için kullanılır.

UBSA denetleyicilerin belirgin özellikleri tespit edilebilir.

1. Öğrenme becerisi,
2. Eşzamanlı işlem,
3. Bilgiyi düzenleyip temsil etme,
4. Farklı denetim stratejileriyle daha iyi uyum sağlama.

çok katmanlı algılayıcı, 1. ve 2. özelliklere sahip ancak 3. ve 4. özelliklere sahip değil. UBSA'nın yapısındaki bulanık çıkarım sisteminin mimarisini basitçe anlatmak için, iki girişi ( $x$  ve  $y$ ) ve bir çıkışı ( $f$ ) olduğunu varsayalım. Birinci derece Sugeno bulanık modeli için, iki bulanık "EĞER-SONRA" kuralı, Eşitlik (4.4)'deki gibi olur.

Kural 1: EĞER  $x = A_1$  ve  $y = B_1$  O HALDE  $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$

Kural 2: EĞER  $x = A_2$  ve  $y = B_2$  O HALDE  $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$  (4.4)

Eşitlikte  $i = 1, 2$  için,  $x$  ve  $y$  giriş değişkenlerini,  $f_i$  çıkış değişkenini,  $A_i$  ve  $B_i$  bulanık kümeleri,  $p_i, q_i, r_i \in R$  olmak üzere sonuç değişkenlerini gösterirler (Işık, 2012).

## 5. MATERYAL METOD

### 5.1 Çalışma Alanı

Tunceli İli, Fırat Havzası'nın büyük bir bölümünde bulunur ve tabii sınırlarla çevrili, yüksek bir konumdadır. Doğu Toros Dağları'nın uzantıları, ilin kuzeybatı, kuzey ve kuzeydoğusunu büyük ölçüde kaplayarak doğu-batı yönünde uzanır. Tunceli'nin doğusundaki Iğdır Ovası'ndan başlayarak Erzincan Ovası'na kadar uzanan verimli bir depresyon alanı, bu dağlar tarafından zorlukla aşılamayacak setler oluşturduğu için birleşemez. Dağlar, akarsuların derin bir şekilde oyduğu ve yüzey sularının aşındırma etkisiyle zaman zaman yüksek platolara dönüştüğü bir bölgede yer almaktadır. Vadilerin karakteristiği oldukça dar ve dik olup, vadi tabanlarında ovaların oluşmaması dikkat çekicidir.

Güneyden kuzeye ve batıdan doğuya yayılan bir ilin topraklarının büyük bir kısmı dağlar, ardından platolar ve ovalar oluşturuyor. Munzur Vadisi, Munzur Dağları'ndan kaynaklanan birkaç koldan oluşur ve ilin en geniş düzlüğü olan Ovacık çöküntü alanında birleşir. Munzur Vadisi, merkez ilçede Pülümür Vadisiyle birleşerek güneye doğru uzanır ve Keban Baraj Gölü'ne ulaşır. Pülümür Vadisi ise Avcı Dağları'nın doğu yamaçlarından başlayarak oldukça dik bir şekilde güneye doğru uzanan bir vadidir. Munzur Vadisi ile merkez ilçede birleşir ve Keban Baraj Gölü'ne doğru yönelir. Peri Vadisi, Bingöl Dağları'nın batı yamaçlarından kaynaklanıp Elazığ-Tunceli sınırını oluşturur ve Keban Baraj Gölü'ne doğru ilerler. Tunceli ile Bingöl arasındaki ilişkiyi sınırlandıran doğal bir engel olarak Peri Vadisi ortaya çıkar.

Tahar Vadisi, Kırklar Dağı'nın batı yamaçlarından güneye doğru uzanarak Keban Baraj Gölü'ne dökülen bir vadidir. Diğer vadilere kıyasla daha geniş ve dik olmayan bir yapıya sahiptir. Çemişgezek bölgesinde bazı noktalarda genişlediği yerlerde, akarsu yatağı boyunca sıralanan kıvrımlar mevcuttur. Munzur Vadisi Milli Parkı, ülkemizin nadide köşelerinden biri olan zengin bir doğal mirasa sahiptir; bu mirasın içerisinde akarsu kaynakları, gözeler, endemik bitki türleri, yöreye özgü hayvan türleri, çok çeşitli bitki örtüsü ve vahşi hayvan popülasyonları yer almaktadır.

Munzur Dağları'nın kuzeyinde bulunan milli park, 3000 metreye yaklaşan zirveleriyle dikkat çeken krater gölleri, Ovacık ilçe düzlüğünden akan gözler ve vadi boyunca serpilen şelalelerle doğal güzelliklerle doludur. Munzur Dağları'nın

yamaçlarından Mercan Vadisi'ne akan Kırk Merdiven Şelaleleri, dar bir vadide bulunan birkaç şeleleden oluşmaktadır. Zengin su kaynakları ve etkileyici doğal peyzajıyla dikkat çeken Kırk Merdiven Şelaleleri, Ovacık'ın kuzeyinde bulunan yaylalara çıkan güzergahta unutulmaz bir durak noktasıdır.

Munzur Vadisi Milli Parkı'nın kuzeyinde 1636 metre yükseklikteki Kale Tepe bölgesi, Şahverdi köyünün kuzeybatısında yer almakta olup, Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından Erzurum Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kurulu'nda birinci derece arkeolojik sit alanı olarak kayıtlıdır. Aynı biçimde, Munzur Vadisi Milli Parkı'nın yakınlarında bulunan Tülin Tepe, Tepecik ve Pulur höyükleri, bölgenin kalkolitik ve neolitik dönemlerde yerleşim gördüğünü gösteren önemli tarihi alanlardır. Şekil 5.1'de Tunceli'nin konumu görülmektedir.

## 5.2. Meteorolojik Veriler

Meteoroloji istasyonları yıllardır günlük bazda yağış verilerini ölçmekte ve bu veriler düzenli olarak arşivlenip kaydedilmektedir. Yağış verilerinin ölçümü, meteoroloji istasyonları tarafından yağış ölçüm araçlarıyla (örneğin pluviometre, plüviograf) gerçekleştirilir. Çalışmamızda analiz için kullanılan veriler, 981m rakımda bulunan, 39-1058 enlem ve 39-5408 boylamda bulunan Tunceli Merkezi'ndeki meteorolojik gözlem istasyonu 17165'ten alınmıştır.



Şekil 5.1. Tunceli Konum Haritası

Veri analizi, Ocak 2012'den Aralık 2023'e kadar olan 12 yıllık bir dönemi kapsayan verilere dayanmaktadır. Aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), aylık toplam açık yüzey buharlaşması, aylık ortalama nisbi nem (%), aylık ortalama 10 cm toprak sıcaklığı, aylık ortalama rüzgar hızı (m/sn), aylık global güneş radyasyonu oranları ve aylık ortalama yağış ( $\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$ ) verileri kullanılmıştır.

### 5.3. Normalizasyon

Yapay sinir ağları için, giriş ve çıkış verilerini işlem öncesi belirli adımlara tabi tutarak ağın eğitim verilerini daha etkili hale getirmek gerekmektedir. Ağ giriş işlemleri, veri kullanımını optimize ederken normalleştirme işlemi, ham verilerin eğitim için hazırlanmasını etkiler. Yapay sinir ağı eğitimi, ham veri setlerinde normalizasyon uygulanmazsa genellikle daha yavaş olabilir. Normalizasyon için farklı teknikler mevcuttur: Min-Max scaling, Medyan, Sigmoid ve Z-Score gibi normalizasyon kuralları literatürde bulunmaktadır. Çok katmanlı ağ (ÇKA) modelinin giriş ve çıkışlarının ölçeklendirilmesi (normalizasyon), ağın performansını yakından etkiler çünkü normalizasyon, veri değerlerinin dağılımını düzenli hale getirir. Ayrıca, yapay sinir ağları girdileri arasında aşırı büyük veya küçük değerler bulunabilir ve bu, ağı yanlış yönlendirebilir. Tüm girdilerin belirli bir aralıkta ölçeklendirilmesi, farklı kaynaklardan gelen bilgilerin aynı ölçekte olmasını sağlar ve aynı zamanda yanlışlıkla girilmiş aşırı büyük veya küçük değerlerin etkisini azaltır. Bazı araştırmacılar, kendi problemlerine özgü ölçeklendirme yöntemleri geliştirmektedirler ve her problem için farklı bir ölçeklendirme yöntemi kullanılabilir. Bu nedenle, ÇKA ağı tasarımcıları, kendi verilerini normalize etme yaklaşımını kendileri belirleyebilir. Bu durumda, standart bir yaklaşımın oluşturulması her zaman doğru olmayabilir (Yavuz ve Deveci, 2012).

LOGSİG fonksiyonu için normalizasyon formülü;

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (5.1)$$

TANSİG fonksiyonu için normalizasyon formülü ;

$$x_{norm} = 2 \times \left( \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \right) - 1 \quad (5.2)$$

#### 5.4. Performans Kriterleri

Yapılan bu çalışmada, Modelin tahmin ettiği yağış miktarının performansı, korelasyon katsayısı, ortalama karekök hatası (RMSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) gibi istatistiksel ölçütler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Hata karelerinin ortalama karekökü (RMSE), model tahminleri ile gerçek değerler arasındaki farkı ölçmek için kullanılır ve bu değer ne kadar düşükse, modelin tahmin yeteneğinin o kadar yüksek olduğunu gösterir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^j (y_{model,i} - y_{deney,i})^2}{n_j}} \quad (5.3)$$

Burada  $y_{deney,i}$  ve  $y_{model,i}$  ve sırasıyla Tablo tahminleri ve deneysel ölçüm değerleri,  $n$  deneyin sayısını temsil etmektedir.

Taban Mutlak Hata (MAE), model tahminlerinin gerçek ölçüm değerleriyle arasındaki mutlak farkı ölçmek için kullanılan bir metriktir. MAE değeri, modelin tahmin yeteneğinin doğruluğu açısından ne kadar yakın olduğunu gösterir, değer ne kadar küçükse modelin tahmin yeteneği o kadar iyidir. MAE, aşağıdaki denklemle hesaplanır:

$$MAE = 1/n * \sum |Y_i - \hat{Y}_i|,$$

burada  $n$  örnek sayısını,  $Y_i$  gerçek değeri ve  $\hat{Y}_i$  tahmin edilen değeri ifade eder.

$$MAE = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^{n_j} (y_{deney,i} - y_{model,i}) \quad (5.4)$$

Tablo katsayısı (R), bir modelin tahminlerinin gerçek deney ölçümleri ile ne kadar ilişkili olduğunu ölçmek için kullanılır. R değeri 0 ile 1 arasında değişir ve 1'e ne kadar yakınsa, modelin tahminleri ile deney ölçümleri arasındaki ilişkinin o kadar güçlü olduğunu gösterir. Bu değer ne kadar yüksekse, modelin başarılı olduğu anlamına gelir.

Ölçüm değerlerinin farklı büyüklüklerinden kaynaklanan farklılıkları ortadan kaldırmak ve farklı ölçü birimleriyle ifade edilmiş ölçümleri karşılaştırılabilir hale getirmek için yeni bir değişim ölçüsü kullanmak gerekir. COV olarak adlandırılan değişim katsayısı, standart sapmanın ortalamaya oranının yüzle çarpılmasıyla elde edilir. COV

değerleri 0 ile 100 arasında değişebilir. Bu katsayı, sıfıra yaklaştıkça değişkenliği azaltırken, 100'e yaklaştıkça değişkenliği artırır. Yüzde olarak ifade edilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$COV = \frac{S}{\bar{X}} * 100 \quad (5.5)$$

Burada;

S= Standart sapma,

$\bar{X}$  =ortalama'yı göstermektedir.

R2, ölçüm değerleri ile model tahminleri arasındaki doğrusal ilişkiyi değerlendirmek için kullanılır. Bu değer, sıfır ile bir arasında değişir ve değer bir'e yaklaşması, model tahminleri ile ölçüm değerleri arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu gösterir.

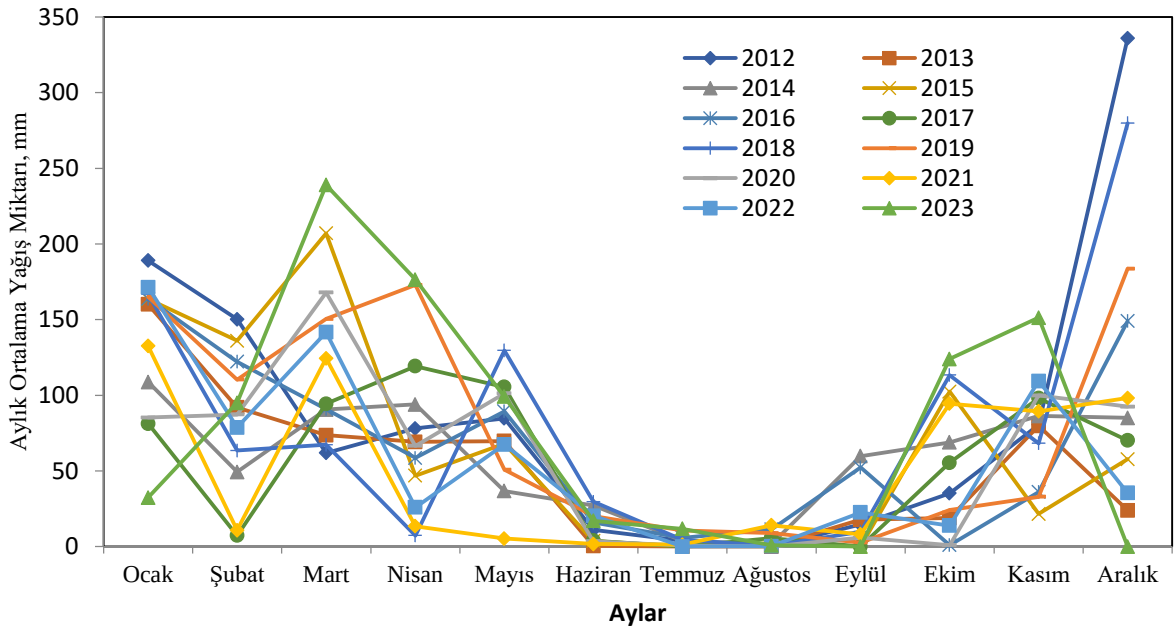
Bu çalışma kapsamında, farklı ara katman sayıları kullanılarak çeşitli model parametreleri test edilmiştir. UBSA için en uygun model parametrelerini belirlemek amacıyla bulanık kural tabanı ve çeşitli üyelik fonksiyonları kullanılırken ayrıca farklı ara katman sayılarının etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerde YSA modeline farklı algoritmalar uygulanmış ve en uygun çözüm bulunmuştur.



## 6. BULGULAR

### 6.1. YSA ile Ortalama Yağış Tahmini

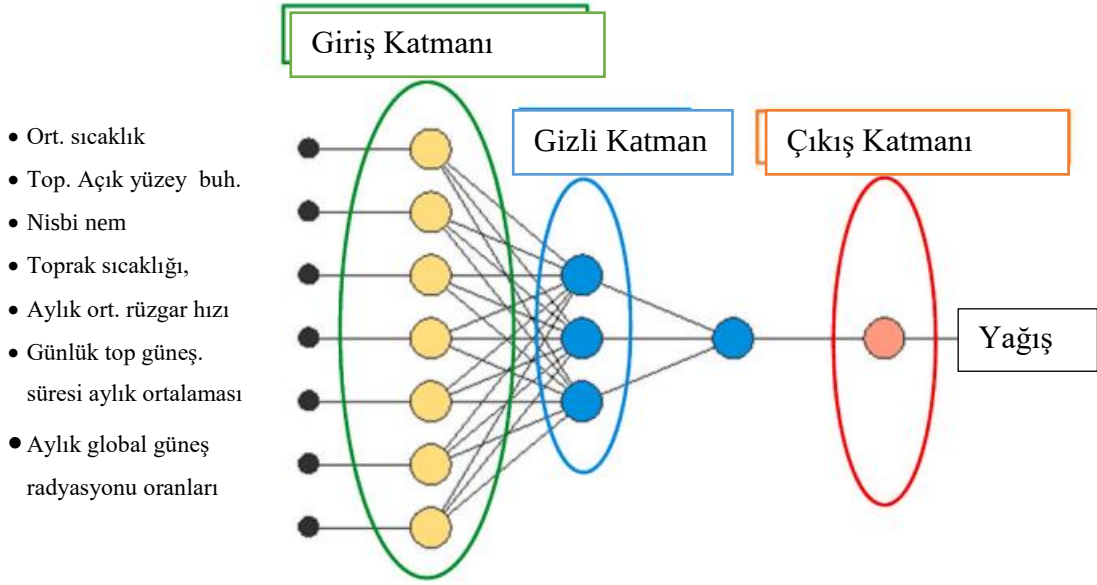
Analiz verileri, Ocak 2012'den Aralık 2023 tarihine kadar olan 12 yıllık veriyi kapsamaktadır. Aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), aylık toplam açık yüzey buharlaşması, aylık ortalama nisbi nem (%), aylık ortalama 10 cm toprak sıcaklığı, aylık ortalama rüzgar hızı (m/sn), aylık global güneş radyasyonu oranları ve aylık ortalama yağış ( $\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$ ) verileri kullanılmıştır. Şekil 6.1'de aylara bağlı olarak 2012-2023 yıllarına ait ortalama yağışlar görülmektedir.



Şekil 6.1. 2012-2023 yıllarına ait aylık ortalama yağışlar

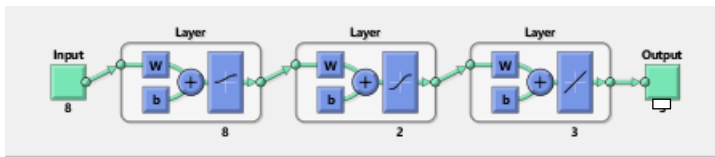
Yedi girişe ve bir çıkışa sahip çok katmanlı bir sinir ağı algılayıcısı (MLP) modeli YSA yapısı olarak kullanılmıştır.

Tablo 6.2'de gösterilen UBSA modeli için, benzer şekilde yedi girişli ve tek çıkışlı bir model geliştirilmiştir. Son zamanlarda yaygın olarak kullanılan YSA ve UBSA metodlarıyla aylık ortalama yağış miktarı tahmin edildi. Bu çalışmada; geriye yayımlı (GY) çok katmanlı YSA modeli, yağış tahmini için kullanılmıştır.



Şekil 6.2. YSA’da kullanılan diyagram

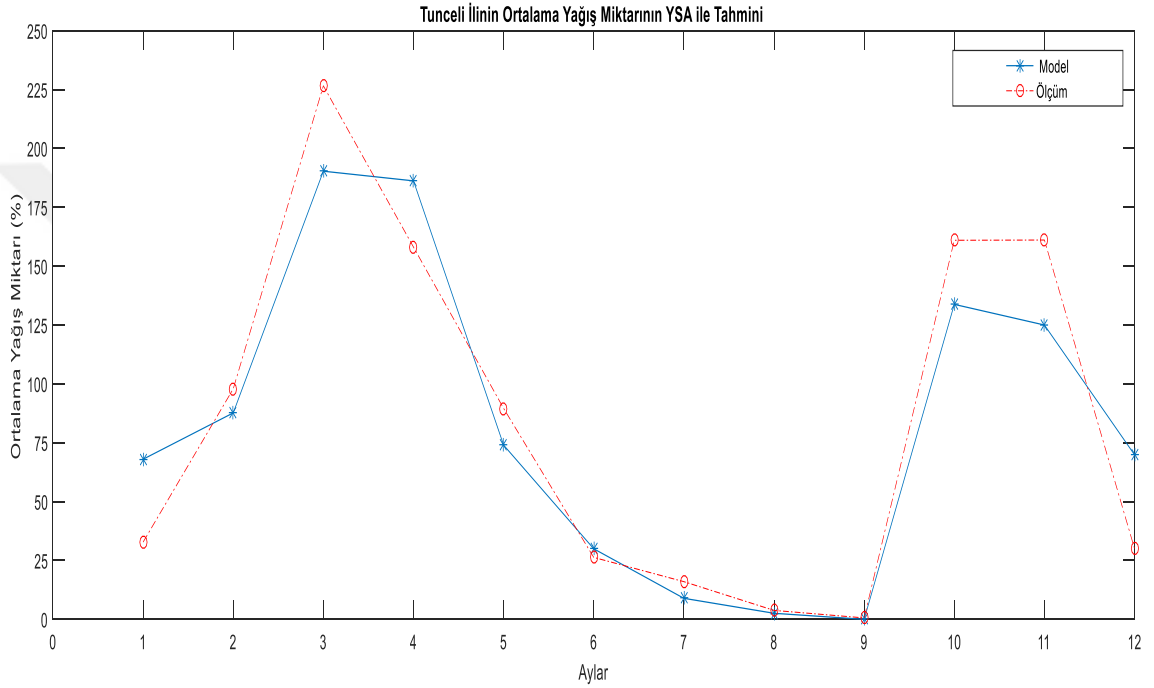
Tabakaların yapıldığı modellerde tek bir gizli katman bulunmaktadır. Sigmoid fonksiyonu, en popüler aktivasyon fonksiyonu olarak tercih edilmiştir. Farklı eğitim fonksiyonları kullanılarak ayrı ayrı eğitilen modeller tasarlanmıştır. Ayrıca, gizli katmanın nöron sayısı algoritmalar yardımıyla çeşitli değerlerde denenmiş ve en yüksek başarı oranına sahip model belirlenmiştir. Yapılan yapay sinir ağları modeli Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Oluşturulan yapay sinir ağ modelinin görüntüsü

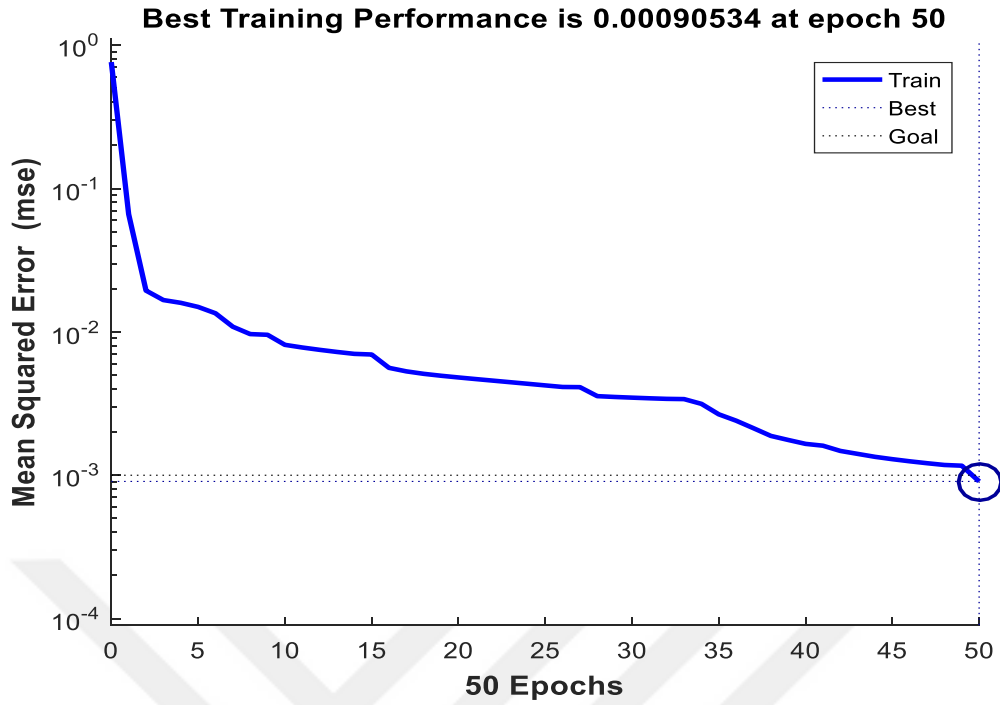
Yapay sinir ağlarında, türevleri kolay alınabilen aktivasyon fonksiyonları tercih edilerek sonuca daha hızlı ulaşılabilir. Çok katmanlı sinir ağı modellerinde sıkça kullanılan aktivasyon fonksiyonları arasında sigmoid, tanjant hiperbolik ve ReLU fonksiyonları yer alır. Yapay sinir ağı modellerinin performansı, giriş sayısı, orta katmandaki nöron sayısı, öğrenme katsayısı gibi parametrelerin deneysel yöntemlerle değiştirilerek en optimum

çözümler elde etmeye çalışılır. LOGSIG ve TANSIG fonksiyonlarını kullanabilmek için verilerin normalize edilmesi gerekmektedir. LOGSIG ve TANSIG fonksiyonları için normalize edilmiş verilerle oluşturulan yapay sinir ağı modelleri, istenen meteorolojik parametreleri yüksek bir hassasiyetle tahmin edebilir. Levenberg-Marquardt (LM) optimizasyon algoritması kullanılarak farklı meteorolojik girdiler altında model çalıştırılmıştır. Şekil 6.4, Tunceli İli için YSA ile ortalama yağış tahminini göstermektedir.



**Şekil 6.4.** Tunceli İli için YSA ile ortalama yağış tahmini

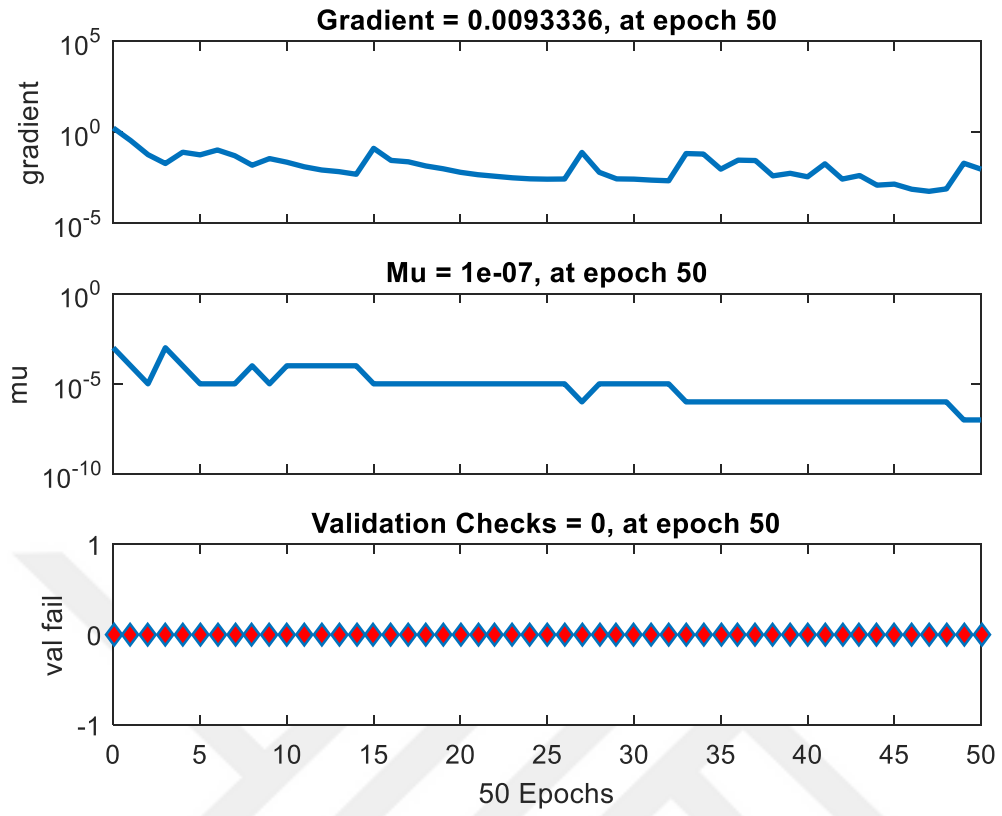
Optimum öğrenme, her zaman öğrenme fonksiyonunun kontrolünde gerçekleşmez. Bu durumda kullanılan performans fonksiyonunun amaçlanan veriyi sağlaması söz konusu olmayabilir. Optimum öğrenme hedefine belirlenenden önce varılması durumunda eğitim kısa sürede tamamlanabilir. Şekil 6.5’de oluşturduğumuz ağın performansı görülmektedir.



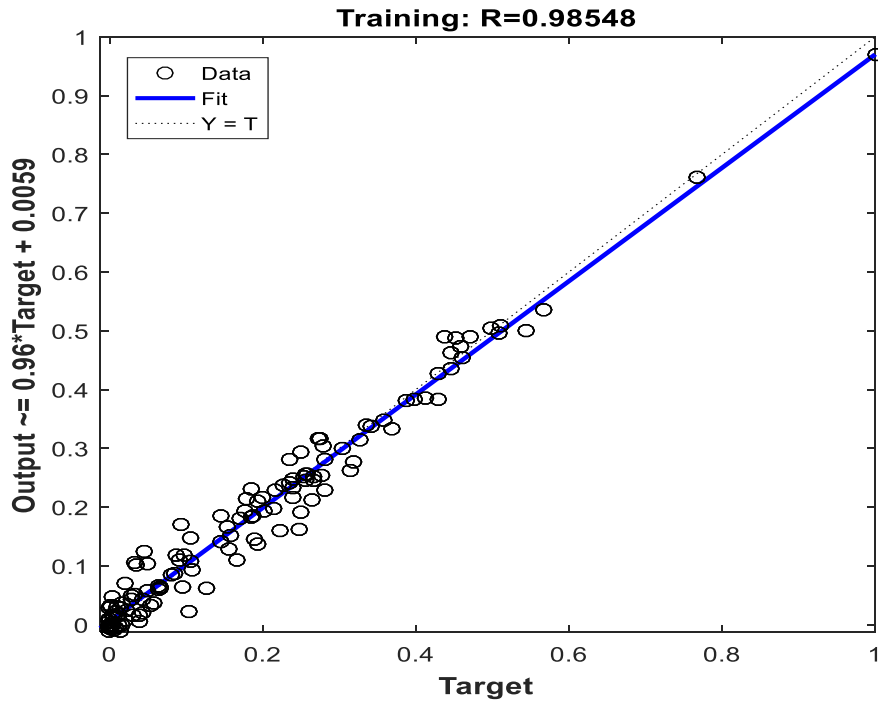
**Şekil 6.5.** Tunceli İli için YSA modelinin yaklaşım sayısı

Yapay Sinir Ağı modellerinin başarısını gösteren farklı grafikler bulunmaktadır. Yapay Sinir Ağı (YSA) eğitiminde, Epochs boyunca ortalama karesel hata (Mean Squared Error - MSE) değerlerinin değişimini gösteren MSE-Epochs grafiği oldukça önemlidir. Bu grafik, YSA modelinin eğitim sürecindeki performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. MSE değeri ne kadar düşük olursa, modelin başarısı o kadar yüksek kabul edilmektedir. Ayrıca, Gradient - Epoch grafiği ise YSA'nın eğitim sırasında gradient değerlerinin değişimini göstermektedir. Gradient, ağıın eğitim verilerine uyum sağlamak için kullanılan bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu grafikteki değerler, gradient değerinin ne kadar doğru bir şekilde hesaplandığını göstermektedir.

Doğrulama Kontrolleri - Epoch grafiği, yapay sinir ağının eğitim sırasında doğrulama setinde ne kadar başarılı olduğunu gösterir. Bu grafik, modelin doğrulama verileri üzerindeki performansını takip etmek için kullanılmaktadır. Doğrulama seti, modelin genelleme yapabilmesini ve aşırı uydurmadan korunmasını sağlar. Şekil 6.6, yapay sinir ağı modelinin performans grafiklerini göstermektedir. Şekil 6.7 ise gözlenen ve yapay sinir ağı tarafından tahmin edilen değerler arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 6.6. YSA modeline ait performans grafikleri

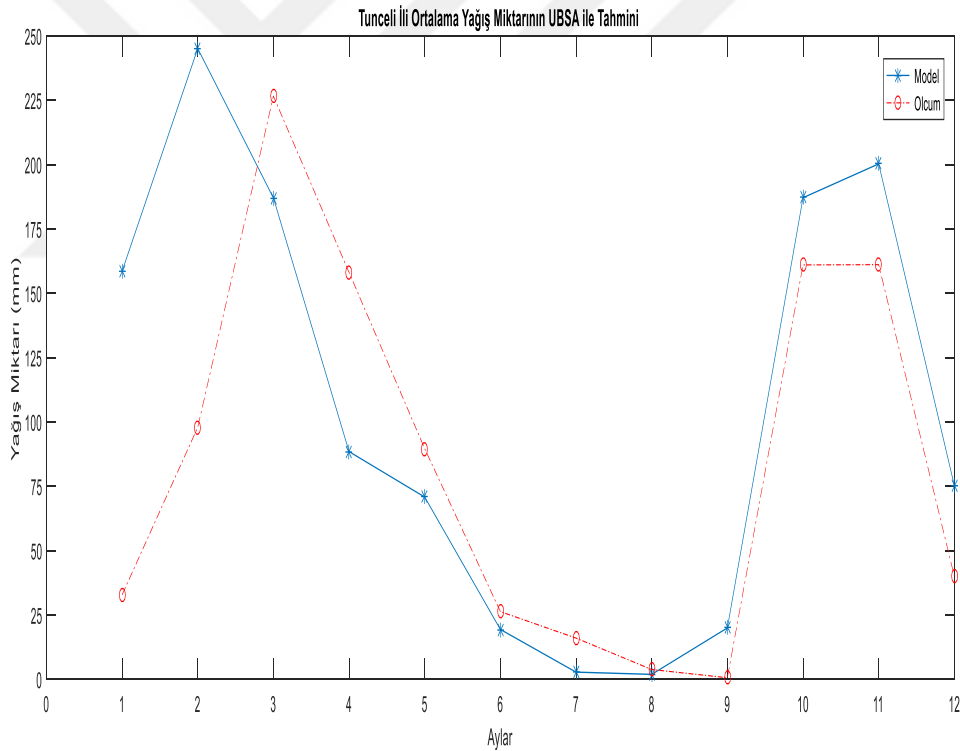


Şekil 6.7. Gözlenen ve YSA ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki

Yapılan modelleme çalışmasında; RMSE=0,3251, COV=0,3887, MAE=0,2141 ve  $R^2$  değeri 0,98548 olarak bulunmuştur. Bu hata değerleri yağış tahmini için oldukça iyi bir yaklaşım elde edildiğini göstermektedir.

## 6.2. UBSA ile Ortalama Yağış Tahmini

Eğitim verileri için UBSA algoritmasıyla bir model oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyonları ve fonksiyon sayılarının model üzerindeki etkileri incelenmiştir. UBSA algoritmasında gbell, gauss2, tri, gauss, trap gibi farklı üyelik fonksiyonları kullanılabilir. Yapılan çalışmada, en iyi performans için 2 üyelik fonksiyonunun kullanılması tercih edildi. Bu tercih sonucunda elde edilen UBSA çözümü, Tunceli İli'nin ortalama yağış miktarını gösteren Şekil 6.8'deki grafikte verilmiştir.



**Şekil 6.8.** Tunceli İli için UBSA ile ortalama yağış tahmini

Yapılan modelleme çalışmasında; RMSE=0,3087, COV=0,3654, MAE=0,2562 ve  $R^2$  değeri 0,5165 olarak bulunmuştur. Bu hata değerleri yağış tahmini için oldukça iyi bir yaklaşım elde edildiğini göstermektedir.

2012 - 2023 yılları arasında alınan meteorolojik veriler ile modelimiz eğitilmiştir. Yapılan istatistiksel testler sonucunda, meteorolojik veriler ile model tarafından üretilen veriler arasında  $R^2$ , RMSE, MAE ve COV değerleri oldukça tatmin edici bulunmuştur. Bu sonuçlar, YSA'nın uygun ağ mimarisi ve eğitim seti sayesinde başarılı bir şekilde aylık yağış miktarını tahmin etmede kullanılabileceğini göstermektedir.



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Meteorolojik olaylar insan hayatını sürekli olarak etkilemektedir. Ayrıca insanoğlunun bu olaylara müdahalesi oldukça azdır. Meteorolojik olayların toplumların hayatında meydana getirdiği sebep ve sonuçlar göz önünde tutulduğunda meteorolojik değişkenlerin doğru bir şekilde tahmin ve analiz edilmesinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu meteorolojik verilerden belkide en önemlisi akışı meydana getiren yağış parametresidir. Uzun sürelerde veya çok büyük şiddetlerde yağan yağmur nedeniyle meydana gelen sel ve taşkın hem insan hayatını hem de doğayı olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Tam tersi durumda ise uzun sürede yetersiz yağış meydana gelmesi kuraklığın ortaya çıkması demektir.

Hava tahminleri diğer etmenleri etkilediği gibi tarımda çok etkilemektedir. Aşırı kuraklık ve yağışlardan kaynaklı tarımdaki verim etkilenmektedir. Bundan dolayı hava tahminlerinin önceden bilinip, buna göre önlem alınması gerekmektedir. Hava tahminlerinin doğru ve yerinde tespiti tarım için çok önemlidir. Tarım hem ekonomiyi hemde yaşam kalitesini etkilemektedir.

Bu çalışmada Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 2012-2023 yılları arasındaki Tunceli iline ait merkez istasyonunda da ölçülen aylık ortalama değerlere sahip bazı meteorolojik parametreler kullanarak aylık ortalama yağış miktarını belirleyecek modeller oluşturulmuştur. Bu amaçla 2012-2023 yılları arasındaki 12 yıllık aylık veriler kullanılmıştır. Ocak 2012'den Aralık 2023'e kadar olan 12 yıllık bir dönem için; aylık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), aylık toplam açık yüzey buharlaşması, aylık ortalama nisbi nem (%), aylık ortalama 10 cm toprak sıcaklığı, aylık ortalama rüzgar hızı (m/sn), aylık global güneş radyasyonu oranları, günlük toplam güneşlenme süresi aylık ortalaması ve aylık ortalama yağış ( $\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$ ) verileri kullanılmıştır. YSA modeli için giriş çıkış parametreleri kullanılarak sistemin uygun bir simulasyon modellemesi MATLAB ortamında yapılmıştır. YSA modelimizden elde edilen sayısal tahmini sonuçların bazı hata değerleri  $\text{RMSE}=0,3251$ ,  $\text{COV}=0,3887$ ,  $\text{MAE}=0,2141$  ve  $R^2$  değeri 0,98548 olarak bulunmuştur.

Meteorolojik verilerin özellikle de hidrometeorolojik verilerin tahmini veya eksik verilerin oluşturulması, su kaynakları sahasındaki çalışmalar için çok büyük bir önem taşımaktadır. Kendi içerisinde çok fazla değişken barındıran bu meteorolojik parametrelerin geleceğe yönelik tahminleri için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu



yöntemlerden biri olan UBSA yöntemleri ile gelecek yıllarda bu parametrelerin nasıl değişebileceğinin bilgisine sahip olunmasının önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. UBSA ile yapılan modelleme çalışmasında; RMSE=0,3087, COV=0,3654, MAE=0,2562 ve  $R^2$  değeri 0,5165 olarak bulunmuştur. Bu hata değerleri yağış tahmini için iyi bir yaklaşım elde edildiğini göstermektedir. YSA modeli UBSA modeli ile karşılaştırıldığında YSA modelinin daha başarılı olduğu görülmektedir.

2012 - 2023 yılları arasında alınan meteorolojik veriler ile modelimiz eğitilmiştir. Yapılan istatistiksel testler sonucunda, meteorolojik veriler ile model tarafından üretilen veriler arasında  $R^2$ , RMSE, MAE ve COV değerleri özellikle YSA için oldukça tatmin edici bulunmuştur. Bu sonuçlar, YSA'nın uygun ağ mimarisi ve eğitim seti sayesinde başarılı bir şekilde aylık yağış miktarını tahmin etmede kullanılabileceğini göstermektedir.

## 8. KAYNAKLAR

- Alp, M., Cıgızoğlu, H. K.,** 2004. Farklı yapay sinir ağı metodları ile yağış-akış ilişkisinin modellenmesi, *İTÜ Dergisi*, 9:80-88.
- Altun, İ., Dündar, S.,** 2005. Yapay sinir ağları ile trafik akım kontrolü. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005 Kocaeli, 1335-1344s.
- Arslanoğlu Işık, H.,** 2012. Çeşitli yöntemlerle tarımsal atıklardan üretilen aktif karbonların karakterizasyonu ve kesikli sistemde boyar madde giderimine uygulanması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, 233s.
- Ataseven, B.,** 2013. Yapay sinir ağları ile öngörü modellemesi. *Öneri Dergisi*, Cilt10, Sayı 39, s:101-115.
- Bayraktar, A. N., Özkal, F. M.,** 2016. Yapay sinir ağları kullanılarak betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliklerinin tespiti. *International Academic Research Congress*, 202-209.
- Behrang, M. A., Assareh, A., Ghanbarzadeh, A., Noghrehabadi, A. R.,** 2010. The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data, *Solar Energy*, 84, 8, 1468-1480.
- Cesur, E., Efe, C.,** 2023. Kampüs içi kapalı alanlarda hava kalitesinin modellenmesi ve karar destek sistemi geliştirilmesi. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 6, no. 2, 181-90.
- Croft, M. V., Chow-Fraser, P.,** 2007. Use and Development of the Wetland Macrophyte Index to Detect Water Quality Impairment in Fish Habitat of Great Lakes Coastal Marshes, *Journal of Great Lakes Research*, Volume 33, 172-197.
- Çevik, E.,** 2009. Yapay sinir ağları ve yağış tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 60s.
- Çilliyüz, Y.,** 2006. Yapay sinir ağları ile çevre koşulları etkili bölgesel yük kestirimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 75s.
- Dede, A.,** 2009. İznik Göl suyu kalite parametrelerinin yapay sinir ağlarıyla değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 185s.
- Doğan , E., Işık, S., Sandalcı, M.,** 2007. Günlük buharlaşmanın yapay sinir ağları kullanarak tahmin edilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 13:4119-4131.
- El-Mahdy, M. E., El-Abd, W. A., Morsi, F. I.,** 2021. Forecasting lake evaporation under a changing climate with an integrated artificial neural network model: A case study Lake Nasser, *Egypt, Journal of African Earth Sciences*, 179.

- Erkaymaz, H., Yaşar, Ö.,** 2011. Yapay sinir ağı ile hava sıcaklığı tahmini. 5 th *International Computer & Instructional Technologies Symposium*, Elâzığ. 7s
- Ertürk, S., Kara, H., Akkuş, C., Genç, G.,** 2023. *Türkiye’de farklı iklim kuşakları için yapay sinir ağları kullanılarak güneş ışıının tahmini. Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 11(4), 885-892.
- Esen, H.,** 2007. Düşey borulu toprak kaynaklı ısı pompasının konutlardaki iklimlendirme sistemlerinde mevsimsel davranışın araştırılması. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, 202s.
- Goldberg, D. E.,** 1989. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning addison- Wesley Pub. Co.
- Göktaşar, İ, Dünder, S .** 2018. Sürücüsüz taşıtların trafik akım hızına etkisinin yapay sinir ağları ile incelenmesi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 2, 56-71.
- Gökçe, H.,** 2009. Atıksularda taşınan askıdaki madde miktarının yapay sinir ağları metodu ile tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 88s.
- Gönül, Y., Ulu, Ş., Bucak, A., Bilir, A.,** 2015. Yapay sinir ağları ve klinik araştırmalarda kullanımı. *Genel Tıp Dergisi*, 25:104-111.
- Güllüoğlu, S. S.,** 2011. Tıp ve Sağlık Hizmetlerinde Veri Madenciliği Çalışmaları: Kansere Teşhisine Yönelik Bir Ön Çalışma. *Online Academic Journal of Information Technology*, 2.5.
- Gümüş, V., Başak, A., Yenigün, K.,** 2018. Yapay sinir ağları ile Şanlıurfa istasyonunun kuraklığının tahmini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13:621-633.
- Gümüş, V., Soydam, N.G., Şimşek, O., Akyöz, M.S., Kırıkgöz, M.S.,** 2013. Yağış-Akış ilişkisinin Belirlenmesinde Farklı Yapay Sinir Ağı Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13:37-49.
- Güneş, M.,** 2010. Sultan sazlığı göl su seviyelerinin yapay sinir ağı- dalgacık modeli ile tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Hamzaçebi C., Kutay, F.,** 2004. Yapay sinir ağları ile Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin 2010 yılına kadar tahmini. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 19, No 3, 227-233.
- Hamzaçebi, C.,** 2011. Yapay sinir ağları, tahmin amaçlı kullanımı Matlab ve neurosolutions uygulamalı. Ekin Basın Yayın Dağıtım, Bursa.
- Hebb, D. O.,** 1949. The organization of behavior. Wiley, New York.

- Hüsrevoğlu, M.,** 2023. Yapay zekâ yöntemlerinin yağış haritaları için mekânsal tahmin başarılarının incelenmesi. *Doktora Tezi*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, 156s.
- Işık, E.,** 2012. Türkiye’de ısıtım sistemi tasarımında kullanılan meteorolojik verilerin akıllı sistemlerle tahmini. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 171s.
- Koyuncuoglu, A., Özgülbaş, N.** 2009. Veri madenciliği: Tıp ve sağlık hizmetlerinde kullanımı ve uygulamaları. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 2(2).
- Kumaş, K., Ayan, M., Akyüz, A.Ö., Güngör, A.,** 2019. Antalya İli meteorolojik verileri yardımıyla hava sıcaklığının yapay sinir ağları metodu ile tahmini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10:146-154.
- Ma, M., Xie, P., Teng, F., Wang, B., Ji, S., Zhang, J., Li, T.,** 2023. HiSTGNN: Hierarchical spatio-temporal graph neural network for weather forecasting. *Information Sciences*, Volume 648, November 2023, 119580
- Mao, G., Wang, M., Liu, J., Wang, Z., Wang, K., Meng, M., Zhong, R., Wang, H., Li, Y.,** 2021. Comprehensive comparison of artificial neural networks and long short-term memory networks for rainfall-runoff simulation. *Physics and Chemistry of the Earth*, Parts A/B/C, 123
- Mermer, M.,** 2007. Kentsel içme suyu ihtiyacının yapay sinir ağları ile tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Minarecioğlu, N.,** 2008. Doğal akarsularda taşınan katı madde miktarının yapay zekâ yöntemleri kullanılarak tahmin edilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 81s.
- Öcal, O.,** 2007. Yapay sinir ağları algoritması kullanılarak akarsu havzalarında yağış-akış-katı madde ilişkisinin belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 105s.
- Öklü, M., Canbay, P.,** 2023. Makine Öğrenmesi Yöntemleri İle Şehirlerin Hava Kalitesi Tahmini. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences* 35, no: 1, 39-53. <https://doi.org/10.7240/jeps.1175507>.
- Özsoy İ., Fırat, M.,** 2004. Kirişsiz döşemeli betonarme bir binada oluşan yatay deplasmanın yapay sinir ağları ile tahmini, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 1, 51-63.
- Öztopal, A.,** 2007. Uydu ve yer kaynaklı meteorolojik değişkenlerle kısa vadeli yağış modellemesi için yapay sinir ağı yaklaşımı. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 85s.
- Öztopal, A., Şen, Z.,** 2009. Kısa vadeli yağış modellemesi için yapay sinir ağları yaklaşımı. *İTÜ Dergisi*, 8:37-49.

- Öztürk, K., Şahin, M. E.,** 2018. Yapay sinir ağları ve yapay zekâ'ya genel bir bakış. *Takvim-i Vekayi*, 6 ,2, 25-36.
- Partal, T.,** 2007. Türkiye yağış miktarlarının yapay sinir ağları ve dalgacık dönüşümü yöntemleri ile tahmini. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 181s.
- Sağıroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler, M.,** 2003. Mühendislikte yapay zekâ uygulamaları-I. yapay sinir ağları, *Ufuk kitap kırtasiye*, Kayseri.
- Saphoğlu, K., Çimen, M.,** 2010. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Günlük Yağış Miktarının Tahmini. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8:14-21.
- Söyler, H., Kızılkaya, O.,** 2023. Türkiye’de CO<sub>2</sub> emisyonlarının belirleyicileri: çok katmanlı yapay sinir ağları ile bir uygulama. *MJSS*, vol. 12, no. Özel Sayı, pp. 105–116, 2023, doi: 10.33206/mjss.1320873.
- Şahin, M.,** 2007. Karadeniz Bölgesindeki Yağış-Akış İlişkisinin Farklı Yapay Sinir Ağları Metotlarıyla Belirlenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 98s.
- Tosun, S.,** 2007. Sınıflandırmada Yapay Sinir ağları ve karar ağaçları karşılaştırması: öğrenci başarıları üzerine bir araştırma. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 115s.
- Turgut, A., Temir, A., Aksoy, B., Özsoy, K.,** 2019. Yapay zekâ yöntemleri ile hava sıcaklığı tahmini için sistem tasarımı ve uygulaması. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3:244-253.
- Tuzcuoğlu, H.,** 2003. Yapay zekâ teknikleri, depremde kullanılması ve küme kuramları, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5,1,73-88.
- Türk, E., Kiani, F.,** 2019. Yapay sinir ağları ile talep tahmini yapma: beyaz eşya üretim planlaması için YSA uygulaması, *İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*,1,1,31-37.
- URL-1,** 2021. <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojinedir.aspx>
- URL-2,** 2021. <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojinedir.aspx?s=8>
- URL-3,** 2021. . <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojinedir.aspx?s=10>
- URL-4,** 2021. <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojinedir.aspx?s=11>
- URL-5,** 2021. <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=9>.
- URL-6,** 2024. Plüviyometre nedir, ne işe yarar? | Ders Kitapları Konu Anlatımı (ders-kitabi.blogspot.com)

**URL-7**, 2024. [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/3487/mod\\_resource/content/0/meteoroloji\\_8\\_ASA.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/3487/mod_resource/content/0/meteoroloji_8_ASA.pdf)

**Uslu, H.**, 2008, Yapay sinir ağıları ile yeraltı su seviyesi modellemesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

**Ülker, M., Civallek, Ö.**, 2002. Yapay sinir ağıları ile eksenel yüklü kolonların burkulma analizi. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26, 117 – 125

**Yavuz S., Deveci, M.**, 2012. İstatistiksel normalizasyon tekniklerinin yapay sinir ağı performansına etkisi., *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Sayı: 40, Haziran-Aralık 2012 ss. 167-187.

**Yıldırım, D., Cemek, B., Küçüktopçu, E.**, 2019. Bulanık yapay sinir ağıları ve çok katmanlı yapay sinir ağıları ile günlük buharlaşma tahmini. *Toprak ve Su Dergisi*, 8:24-31.

**Yılmaz, K.**, 2010. Yer gözlem istasyonlarında ölçülen yağış değerlerinin ve uydulardan elde edilen yağış tahminlerinin karşılaştırılmalı değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 111s.

**Yüksek, A. G., Bircan, H., Zontul, M., Kaynar, O.**, 2007. Sivas ilinde yapay sinir ağıları ile hava kalitesi modelinin oluşturulması üzerine bir uygulama. *C.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Cilt 8, Sayı 1, 97-112.

