

Hatice ARSLAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

EYLÜL 2020



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**KEBAN BARAJ GÖLÜ  
SEVİYESİNİN BULANIK  
MANTIK VE DESTEK VEKTÖR  
MAKİNELERİ YÖNTEMLERİYLE  
TAHMİNİ**

**Hatice ARSLAN**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

EYLÜL 2020



**KEBAN BARAJ GÖLÜ SEVİYESİNİN BULANIK MANTIK VE DESTEK  
VEKTÖR MAKİNELERİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ**

**HATİCE ARSLAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2020**

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım

Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ☒ Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- ☒ Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ☒ Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ☒ Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- ☒ Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ☒ Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hatice ARSLAN

17/09/2020



KEBAN BARAJ GÖLÜ SEVİYESİNİN BULANIK MANTIK VE DESTEK VEKTÖR  
MAKİNELERİ YÖNTEMLERİYLE TAHMİNİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hatice ARSLAN

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2020

ÖZET

Günümüz şartlarında su gereksinimi dünya nüfusunun artmasıyla gittikçe artarken ne yazık ki su kaynakları da azalmaktadır. Bu nedenle su havzalarının ve de bilhassa baraj göllerinin korunması ve iyi yönetilmesi oldukça önemlidir. Baraj göllerinde bulunan su varlığının doğru yönetilebilmesi su miktarının bilinmesinden çok gelecekte bu miktarın tahmin edilebilmesiyle doğrudan ilişkilidir. Keban barajı gibi bölgenin en önemli su kaynağının doğru bir şekilde yönetilmesi oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Elazığ'ın Keban ilçesinde bulunan Keban Baraj Gölü'ne ait 2013 – 2014 yılları arasındaki günlük su seviyesi ölçüm değerleri ile Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden alınan enerji gayesi, günlük toplam su sarfıyatı ve toplam buharlaşma miktarı değişkenleri kullanılarak Bulanık Mantık (BM), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) yöntemleri ile günlük hazne seviyesi tahmini yapılması amaçlanmıştır. Modeller, ortalama karesel hataların karekökü (KOKH), ortalama mutlak hata (MOH) ve determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) olmak üzere üç istatistiksel kritere göre birbirleriyle karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda Bulanık Mantık (BM), Destek Vektör Makineleri (DVM) modellerinin, baraj rezervuar seviyesini tahmin etmede başarılı oldukları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Bulanık Mantık, Destek Vektör Makineleri, Çoklu Lineer Regresyon, Baraj Rezervuar Seviyesi

Sayfa Adedi : 89

Danışman : Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ

ESTIMATION OF KEBAN DAM LAKE LEVEL USING FUZZY LOGIC AND SUPPORT  
VECTOR MACHINES METHOD

(M. Sc. Thesis)

Hatice ARSLAN

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

SEPTEMBER 2020

ABSTRACT

Under today's conditions, while the need for water increases with the increase in the world population, unfortunately the water resources have been also decreasing. Therefore, it is very important to protect and direct water basins and especially dam lakes. Managing the presence of water in dam lakes is directly related to the estimation of this amount in the future rather than knowing the amount of water. Proper management of the most important water resource of the region such as Keban dam is of great importance. In this study, by using the variables (The General Directorate of State Hydraulic Works DSI in Turkish acronym) of daily water level, energy purpose, daily total water consumption and total evaporation amount from Keban Dam Lake in Keban district of Elazığ between 2013 and 2014, Daily reservoir level estimation is aimed with Fuzzy Logic, Support Vector machines and Multiple Linear Regression Methods. The models were compared with each other according to the three statistical criteria, namely, mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and determination coefficient ( $R^2$ ). As a result of the study, it was observed that Fuzzy Logic (BM) and Support Vector Machines (SVM) models were successful in predicting the reservoir level of the dam.

Key Words : Fuzzy Logic, Support Vector Machines, Regression, Dam Reservoir Level, Keban dam

Page Number : 89

Supervisor : Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenim süresince bana danışmanlık yapan, bilgi ve tecrübeleriyle devamlı yol gösteren, manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, azmini ve başarılarını daima örnek alacağım, saygıdeğer hocam danışmanım Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ'ye,

Tezimin her aşamasında fikir ve görüşleriyle beni aydınlatan, akademik alanda her desteği sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Fatih ÜNEŞ ve Arş.Gör. Bestami TAŞAR'a,

Hayatım boyunca olduğu gibi, bu süreçte de destek olan, benim için hep fedakarlık yapan, benimle her zaman gurur duyan, sabırlarını ve sevgilerini hiçbir zaman esirgemeyen, hayat boyu rehberim olacak olacak, destekleriyle bugünlere geldiğim, rahmetli babam Mehmet ARSLAN'a ve annem Makbule ARSLAN'a,

Tüm destekleri için sonsuz teşekkür ediyorum.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                             | iv  |
| ABSTRACT .....                                         | v   |
| TEŞEKKÜR .....                                         | vi  |
| İÇİNDEKİLER.....                                       | vii |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                              | ix  |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                               | x   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                           | xii |
| 1. GİRİŞ .....                                         | 1   |
| 1.1.Hidroloji ve Su .....                              | 2   |
| 1.1.1.Hidrolojinin ve suyun dolaşımı.....              | 3   |
| 1.1.2. Dolaşım akış ve depo değişkenleri.....          | 4   |
| 1.1.3. Hidrolojinin metotları .....                    | 5   |
| 1.1.4. Hidrolojik çevrim.....                          | 6   |
| 1.1.5. Kütlenin korunumu .....                         | 9   |
| 1.1.6. Yerkürenin su dengesi.....                      | 10  |
| 1.2. Göl Su Seviyesi Kavramı .....                     | 11  |
| 1.2.1. Göl su seviyesi tanımı .....                    | 12  |
| 1.2.2. Göl su seviyesini etkileyen faktörler.....      | 12  |
| 1.2.3. Göl su seviyesinin önemi .....                  | 12  |
| 1.3. Rezervuar Su Seviyesi ve Kapasitesi Kavramı ..... | 12  |
| 1.3.1. Rezervuar su seviyesi tanımı.....               | 12  |
| 1.3.2. Rezervuar su kapasitesi tanımı.....             | 13  |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 1.3.3. Rezervuar su kapasitesinin önemi.....               | 13 |
| 1.3.4. Rezervuar su kapasitesini etkileyen faktörler ..... | 13 |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                                  | 14 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM .....                                | 22 |
| 3.1. Çalışma Alanı.....                                    | 22 |
| 3.2. Yöntem.....                                           | 24 |
| 3.2.1. Bulanık mantık kavramı.....                         | 24 |
| 3.2.2. Regresyon analizi kavramı.....                      | 36 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....                   | 51 |
| 4.1. Model Analizinde Kullanılan Parametreler .....        | 51 |
| 4.2. Model Sonuçları.....                                  | 52 |
| 4.2.1. Çoklu lineer regresyon (ÇLR) sonuçları.....         | 52 |
| 4.2.2. Bulanık mantık (BM) sonuçları .....                 | 55 |
| 4.2.3. Destek vektör makineleri sonuçları.....             | 57 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                 | 61 |
| KAYNAKLAR.....                                             | 63 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                    | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 1.1. Yağış istatistikleri.....                                     | 10    |
| Çizelge 1.2. Yer kürede suyun dağılımı .....                               | 11    |
| Çizelge 1.3. Yer kürede tatlı suyun dağılımı.....                          | 11    |
| Çizelge 4.1. BM, DVM ve ÇLR modellerinin performans karşılaştırılması..... | 52    |



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                   | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 1.1. Hidrolojik çevrim .....                                                      | 7     |
| Şekil 1.2. Sistem kavramı .....                                                         | 8     |
| Şekil 1.3. Mühendislik gözüyle hidrolojik çevrim .....                                  | 9     |
| Şekil 3.1. Keban barajı.....                                                            | 23    |
| Şekil 3.2. Bulanık ve klasik kümeler .....                                              | 26    |
| Şekil 3.3. Klasik kümelerdeki sabit üyelik dereceleri ile ilgili örnek.....             | 28    |
| Şekil 3.4. Bulanık kümelerdeki değişken üyelik derecelerine bir örnek .....             | 29    |
| Şekil 3.5. Üyelik fonksiyonlarının alabildiği değişik şekiller .....                    | 30    |
| Şekil 3.6. Üçgen üyelik fonksiyonu.....                                                 | 31    |
| Şekil 3.7. Gauss üyelik fonksiyonu .....                                                | 32    |
| Şekil 3.8. Sınır, destek ve çekirdek kısımlarının grafikteki gösterimleri.....          | 33    |
| Şekil 3.9. Klasik Sistem.....                                                           | 34    |
| Şekil 3.10. Bulanık sistem genel tasarımı.....                                          | 34    |
| Şekil 3.11. Bulanık mantık sisteminin temel yapısı.....                                 | 35    |
| Şekil 3.12. Regresyon analizinde sapmalar .....                                         | 40    |
| Şekil 3.13. Doğrusal olarak ayırma .....                                                | 48    |
| Şekil 3.14. Tam olarak doğrusal ayırlamama.....                                         | 49    |
| Şekil 3.15. Doğrusal ayırlamama.....                                                    | 50    |
| Şekil 4.1. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği ..... | 53    |
| Şekil 4.2. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği ..... | 53    |
| Şekil 4.3. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği ..... | 54    |
| Şekil 4.4. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği.....    | 54    |

**Şekil****Sayfa**

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.5. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve BM dağılım grafiği.....  | 55 |
| Şekil 4.6. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve BM saçılım grafiği.....  | 56 |
| Şekil 4.7. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve BM dağılım grafiği.....    | 56 |
| Şekil 4.8. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve BM saçılım grafiği.....    | 57 |
| Şekil 4.9. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve DVM dağılım grafiği..... | 58 |
| Şekil4.10.Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve DVM saçılım grafiği.....  | 58 |
| Şekil4.11.Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve DVM dağılım grafiği.....    | 59 |
| Şekil 4.12. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve DVM saçılım grafiği.....  | 59 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

| Simgeler              | Açıklamalar      |
|-----------------------|------------------|
| <b>km<sup>3</sup></b> | Kilometreküp     |
| <b>°C</b>             | Santigrat derece |
| <b>cm</b>             | Santimetre       |



## 1. GİRİŞ

Dünya üzerinde bulunan en mucizevî maddelerden biri de sudur. Dünya yüzeyinin neredeyse dörtte üçünü sular kaplamış olup geri kalanı da karalar oluşturmaktadır. Günümüzde su doğal kaynakların en önemlileri arasındadır. Birey hayatının da her dönemi için şart olan suyun kalitesinin ve varlığının çok önemi bulunmaktadır.

1900 yılındaki duruma göre dünyada su tüketimi 10 kat artmıştır. 2025 tarihinde ise su tüketiminin ise; evsel açıdan % 70, sanayi açısından % 20 ve tarım açısından da % 17 artacağı öngörülmektedir. Su tüketim oranları oldukça hızlı bir biçimde yükselirken dünyada sanayileşme ve çevre kirliliği nedeniyle temiz su kaynakları da hız bir biçimde azalmaktadır. Günümüzde, 6 milyarlık dünya nüfusunun neredeyse beşte birinin güvenli su kaynaklarından yoksun olduğu söylenmektedir. 1950’de kişi başına düşen su oranı 16.800 m<sup>3</sup> iken bu miktar 2000’de 7.300 m<sup>3</sup> 'e inmiştir. Dünya nüfusunun 8 milyar olacağı öngörüldüğü 2025 yılında ise kişi başına su tüketiminin yaklaşık 4.800 m<sup>3</sup>'e düşeceği beklenmektedir. Tüketimde yaşanacak bu düşüş su kaynaklarındaki kıtlıkla ilişkili olacaktır. Ne var ki 2025 yılına dek hali hazırda kullanılan durumdaki pek çok su kaynaklarının da kirlenmesi beklenmektedir. Dolayısıyla söz konusu kaynaklardan su temin edilemez hale gelecektir (Onur ve ark, 2016).

Dünyanın her bölgesinde olduğu gibi Türkiye’de de su problemi yaşanmaktadır. Su sorununun olduğu bölgelerden biri de Doğu Anadolu Bölgesi olup Doğu Anadolu Bölgesi denildiğinde ise ilk akla gelen baraj Keban Barajıdır. Elektrik üretmek için yapılan baraj gölünden yakın çevredeki bağ ve bahçelerin yanı sıra Uluova’nın sulanmasında da yararlanılmaktadır. Türkiye ve Dünyanın sayılı büyük barajları arasında gösterilen Keban barajı, Doğu Anadolu’nun Yukarı Fırat havzasında, Fırat nehrinin dar ve derin vadisi üzerinde, Permo-Karbonifer yaşlı kalk şistler ile mermerlerin kontağı üzerinde kurulmuştur. Baraj inşaatının bütün aşamalarında rezervuardaki karstik yapıdan dolayı barajda suyun tutulmasıyla ilgili endişeler halen devam etmektedir. Barajda önemli su kaçakları oluşmuş, bunların araştırılması ve önlenmesi amacıyla da çok titiz araştırmalar yapılmıştır. Bu harcamalar baraj maliyetinin yaklaşık iki katına ulaşmıştır (Özdemir ve Özgen, 2004).

Bunun yanında bilhassa günümüzde gerçekleşen global iklim değişikliğiyle beraber bu konu daha da önemli hale gelmiştir. Kullanılabilir suyun önemli şekilde azalmasından dolayı tedbirler alınması gerekliliği kaçınılmaz olmuştur (Küçükerdem ve ark 2019). Bundan dolayı var olan su kaynakları potansiyelinin bilinmesi ve daha verimli kullanılması adına bazı önlemler alınması için gereken dikkatin gösterilmesi gerekmektedir (Onur ve ark. 2016).

Tüm bu nedenlerden dolayı, işletme çalışmaları ve su kaynakları tasarımı var olan su potansiyeline ilave olarak ileriye dönük doğru tahminlerin yapılması da oldukça önem taşımaktadır. Bundan dolayı mevcut veriler ile akım modellerinin kurulması ya da ileriye dönük öngörüler yapılması çalışmaların temelini oluşturmaktadır (Sattari ve ark 2008; Simonovic, 1992; Srinivasan ve ark 1999).

Özellikler baraj rezervuarındaki su seviyesinin doğru tahmin edilmesi ve izlenmesi, nehir yapılarının planlanması, tasarlanması ve inşası ile sulama yönetimi ve kullanım suyu temini ile ilgili kararların alınmasında oldukça önemlidir. Bu çalışmada; Keban Barajı uygulama alanı olarak seçilmiş ve gelecekteki hazne seviyesinin tahmin edilmesi için Bulanık Mantık (BM), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) yöntemleri kullanılmıştır.

### **1.1. Hidroloji ve Su**

Hidroloji bilimi suya ait karakteristikleri, hareketi ve dünya üzerinde meydana gelen döngüyü incelemektedir. Yeryüzündeki cereyan eden tabiat döngüsü sebebiyle susuz yaşam olamayacağından dolayı su yaşamın temeli sayılmaktadır. Bundan dolayı; “su hayattır” sözü geçerliliğini her zaman devam ettirecektir. Dünyadaki toplumların yaşamlarını sürdürmesi, kalkınması hayatlarını devam ettirmesi suya doğrudan bağlıdır. Ne var ki insanoğlu su kaynaklarını hiçbir zaman tükenmeyecekmiş gibi kullanarak israf etmektedir. Bireyler suyun kendiliğinden yenilenebilen sınırsız kaynak şeklinde görmektedirler. Ancak su kaynakları sonsuz olmadığı gibi yanlış kullanma ve kirlenmeyle kolaylık azalmaktadır. Günümüzde tatlı su kaynaklarına sahip devletlerde dahi, gereğinden çok kullanma, kirlenme ve artan gereksinim su teminine risk teşkil etmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin tatlı su ihtiyacı oranı, kentsel, endüstri ve tarımsal gelişmedeki hızlı

büyümeyle bağlantılı şekilde kararlı olarak yükselmektedir. Dünyadaki su döngüsünde iklimsel değişimler ve küresel ısınmanın potansiyel etkileriyle problemler katlanırken kullanıma hazır tatlı suyun gelecekte mevcudiyetinin şimdiye dek hiç olmadığı kadar riskli olacağı öngörülmektedir (Onur, 2015).

Yaşamın başlangıcıyla birlikte insanoğlu günümüze kadar her zaman ihtiyaçlarına göre dünyadaki pek çok farklı alana yerleşmişlerdir. Aynı zamanda yaşam da yıllar boyu insanlığın ilerlemesi ve gelişmesiyle beraber akışını devam ettirmiştir. Bu akış genel olarak bireylerin gereksinimleri doğrultusunda yönlendirilmiştir. Bunların başlıcası ise yaşamını devam ettirebilmesi için gerekli olanları temin etmektir. Yaşamın kaynağı olarak görülen su daima canlılar için ilk sıraya oturmuştur. Bundan dolayı bireyler temel ihtiyaçları nedeniyle genellikle suya yakın bölgelere yerleşirken bu alanlarda hayatlarını devam ettirmişlerdir. Tüm dünyada görüldüğü üzere yerleşim alanları ve en büyük şehirler deniz, göl, akarsu gibi su potansiyelinin çok olduğu bölgelerde kurulmuş ve gelişmiştir. Bu duruma en çarpıcı örnekler Venedik, Paris, New York, İstanbul gibi büyük şehirlerdir (Yenigün ve Gümüş, 2009).

#### **1.1.1. Hidrolojinin ve suyun dolaşımı**

Suyun hareketi ve dolaşımını inceleyen bilim “hidromekanik”, bu disiplinin teknikteki uygulamaları ise “hidrolik” şeklinde adlandırılmaktadır. Yerküredeki suyun hareketlerini, izlediği yolu, dolaşımını ve bu suyun özelliklerini ve bileşimini inceleyen dal ise “Hidroloji”dir. Hidrolojiye ait en geniş tanım ise şudur: *“Hidroloji, yer küresinde (yani yeryüzünde, yer altında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir”*. Hidrolojinin bu tarifiyle pek çok bilim alanları da kapsanmaktadır. Esasen bugün diğer bilimlerle hidroloji arasındaki sınırların net bir şekilde çizilmesi oldukça zordur. Meteoroloji ile atmosferdeki suyun, Oşinografi ile denizlerdeki suyun, jeoloji ile de yerin derinliklerindeki suyun uğraşıldığı ifade edilebilir.

Günümüzde suyun kullanılması ve kontrolüyle ilişkili olarak yürütülen mühendislik çalışmaları “su kaynaklarının geliştirilmesi” ismi altında toplanmıştır. Bu çalışma ve araştırmaların amaçları şunlardır:

- Sudan yararlanılmasına yönelik çalışmalar: akarsularda ulaşım, hidroelektrik, sulama, su getirme vb. işlemler,
- Su miktarının kontrolüne yönelik yürütülen çalışmalar: kanalizasyon tesisleri, kurutma tesisleri, taşkınların önlenmesi vb. işlemler,
- Su kalitesinin kontrolüne yönelik yürütülen çalışmalar: Suyun tasfiye, arıtılma ve korunması işlemleri, su kirlenmesine engel olunması vb. işlemler (DSİ, 2017).

Bireyler daha önce tabiata verdikleri zararların düzeltilebilmesi için; temiz su tesisleri, drenaj kanalları, köprü menfez ve arıtma tesisleri inşa etmektedir. Söz konusu yapıların yapımı ve ekonomik şekilde boyutlandırılmasında önemli payı hidroloji bilimi aldığı için günümüzün önem verilen bir bilim dalı haline gelmiştir. Bu su tesislerinin işletme, inşaat, proje ve planlaması çalışmalarında gerekli olan suyun miktarını ve özelliklerini inceleyen bilim, hidrolojidir.

### **1.1.2. Dolaşım akış ve depo değişkenleri**

Hidrolojik çevrim; biriktirme alanları, yüzeysel akış, yağış, perkolasyon, sızma, yer altı su kütleleri, yüzeysel su yollarındaki akımlar, yer altı suyu akışı, buharlaşma gibi ögelerden meydana gelmektedir. Bu döngünün en önemli, en etkili, en hareketli ve en hızlı parçası depo ve akış değişkenleridir (Okkan, 2020).

Akış ve depo değişkenleri öteki çevrim elemanlarıyla ilişkili şekilde devamlı olarak farklılık gösterir. Bundan dolayı bu iki unsurun incelenmesi esnasında döngü içindeki hareketlerin birbirlerine bağlı değişimler zinciri kurularak düşünülmesi gerekir. Çevrimin başlangıç noktası olan buharlaşma ele alındığı zaman, bölgedeki var olan yüzeysel suların çok olması, zemine ait nemin fazla olması, havadaki rutubetin düşük olması, düşük atmosfer basıncı olması, bölgesel iklimin sıcak ve ılık olması, buharlaşma miktarını artıran karakteristikler şeklinde söz edilebilir. Bu durumun aksine hallerde ise düşük buharlaşma miktarından bahsedilebilir. Buharlaşma doğrultusunda devam eden çevrim elemanı yağış ise rüzgar hareketlerine, buharlaşma miktarına ve yoğunlaşma için gerekli koşulların temin edilmesine bağlı şekilde değişim göstermektedir (Onur, 2015).

Yağış sonrasında su, döngü içinde topraktan sızma şekilde hareket eder. Toprağın suya doygun duruma gelmesi ile yağış sonrasında yüzeyden akışa geçerek yüzeysel su karışmaktadır. Tam bu noktadan itibaren yeryüzü sularındaki akış oranlarında kayda değer artışlar görülmektedir. Yağış ve akışın beraber incelenmesi durumunda bu iki değişken arasındaki etkileşimden bahsedilebilir. Döngü içerisinde ise birikimin meydana geldiği bağlamalar, barajlar, okyanuslar, denizler, göletler ve göller depolama alanları olarak görülebilir. Genel kapsamda tüm dünya dikkate alınarak bir sistem kurulacak olunursa, okyanus ve denizler bir biriktirme alanıdır. Bu biriktirme alanlarına çay, dere ve akarsulardan bir başka deyişle karalardan bu sisteme akan tüm sular girdi olarak alınmaktadır. Bunun yanında bir başka su girdisi denizlerde gerçekleşen yağışlardır. Sistemde biriktirme alanından kaybolan suların buharlaşması gibi su kayıpları ve sızmalar çıktı şeklinde alınmaktadır. Var olan su potansiyelinde çıktılar ve girdiler sebebiyle bir değişim gerçekleşir. Bu değişimin azalma ya da artma olarak görülmesi mümkündür (Güler, 2011).

### **1.1.3. Hidrolojinin metotları**

Bu bölümde hidrolojinin metotları hakkında bilgiler verilecektir (Aksoy, 2015).

#### Ölçmeler

Tüm hidrolojik çalışmalarda öncelikle yapılması gereken Akım ölçüleri, buharlaşma, yağış gibi gereken verilerin toplanarak ölçümlerin yapılmasıdır. Hidrolojik olaylar olabildiğince doğal ortamında yapılması gerekmektedir. Bunun nedeni laboratuvardaki verilerin benzeşim göstermemesidir. Bunun için yeterli aletler sağlanmalı ve yeterli sayıda ölçümlerin yapılması gerekmektedir.

#### Matematiksel model kurulması

Fizik kanunlarına dayanarak kurulan matematiksel modeller tabiattaki hidrolojik sistemlerin soyutlanmış benzerleri şeklinde ifade edilebilir. Bu modellerin kurulması sırasında analiz teknikleri öne çıkmaktadır. Hidrolojik modeller bireylerin tabiatıta yaptığı ve hidrolojinin yaptığı değişiklikleri ön plana çıkarırlar.

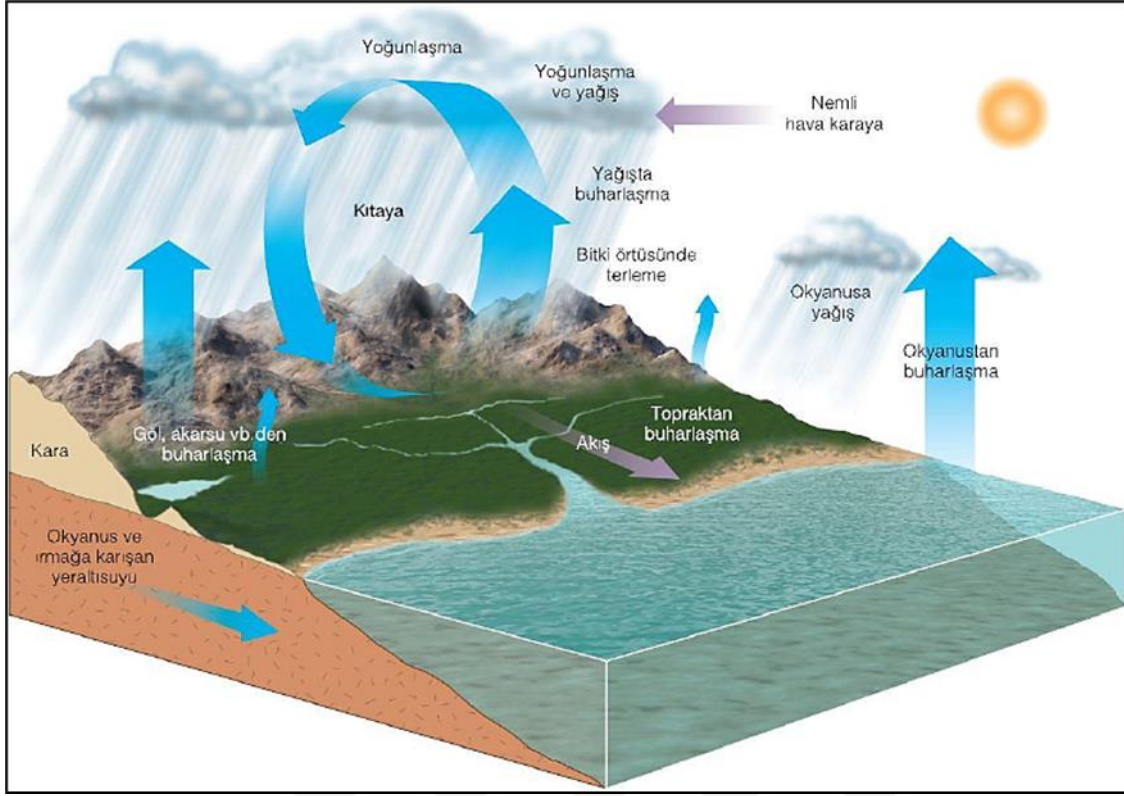
### Olasılık hesabı ve istatistik metotların kullanılması

Toplanan ya da oluşturulan verilerden yararlanılarak uygun istatistiksel verilerle yorumlanmasıdır.

#### **1.1.4. Hidrolojik çevrim**

Su tabiatta farklı yerlerde ve sıvı, katı, gaz hallerinde bulunurken yeryüzünün farklı bölümlerinde değişimlere uğramakta olup, suyun tabiatta dönüşüme maruz kaldığı yolların tamamına “hidrolojik çevrim” adı verilmektedir. Hidrolojik çevrimin gerçekleşmesi şöyle olmaktadır: atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen suyun büyük bir bölümü su yüzeyleri ve zeminden buharlaşma ve bitkilerden terleme vasıtasıyla denizlere ulaşmadan atmosfere geri döner. Bir bölümü de bitkilerce tutularak bir bölümü zeminden süzülerek sızma şeklinde yeraltına geçer. Diğer kısmı da yerçekiminden dolayı harekete başlayarak akarsular ya da onlar vasıtasıyla yüzeysel akışla denizlere ulaşır. Yeraltına sızan su ise yeraltı akış vasıtasıyla yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır (Taş, 2018).

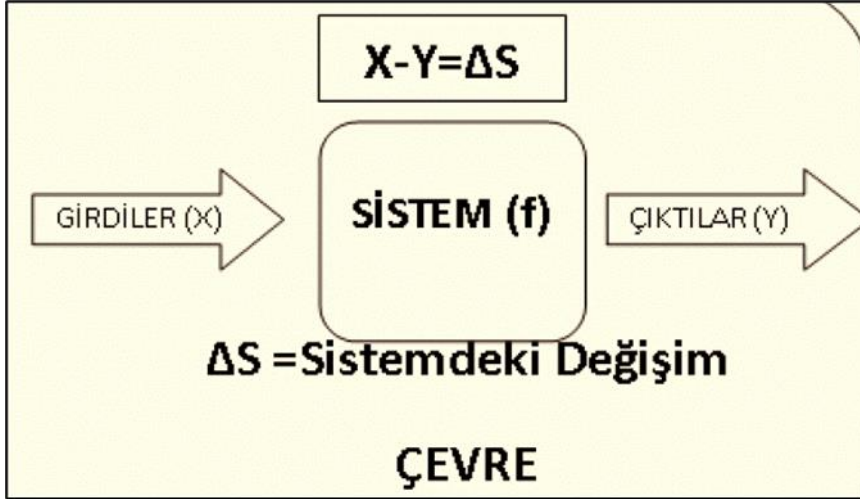
Denizlere yağmurlarla ulaşan su ise buharlaşma ile atmosfere geri döner. Buradan anlaşılacağı gibi su; katı, sıvı ve gaz hallerinde tabiatın farklı bölümlerinde dolaşmaktadır. Bu gerekli döngü yerçekimi ve güneşten sağlanmaktadır. Yerkürenin iklim sistemiyle yakından bağlantısı bulunan hidrolojik çevrim yıllık, aylık ve günlük periyotlara sahip bir prosestir (Yenigün ve Gümüş, 2009).



Şekil 1.1. Hidrolojik çevrim (<http://yunus.hacettepe.edu.tr/~alaettintuncer/docs/Su.pdf>)

Şekil 1.1’de, Hidrolojik çevrime göre atmosfer biriktirme sistemini, yüzeysel biriktirme sistemine aktardığı yağışın bir kısmı sızarak zemin nemi biriktirme sistemine oradan da Perkolasyonla yeraltı biriktirme sistemine geçtiği gösterilmektedir (Arslan, 2008).

Bu üç sistem de terleme ve buharlaşma vasıtasıyla atmosferle bağlantısı olduğu gibi yeraltı biriktirme sistemi de yeraltı akışı, zemin nemi biriktirme sistemi yüzey altı akışı ve yüzeysel biriktirme sistemi yüzeysel akış şeklinde suların bir bölümünü akarsu biriktirme sistemi içerisine gönderir. Buna yağışla akarsu biriktirme sistemine düşen su yağış eklenerek buharlaşma kayıplarının çıkması sonrasında geri kalan su akarsular vasıtasıyla akış biçiminde göller ya da denizlere ulaşırken, bu suyun bir bölümü buharlaşmayla atmosfere döner.



Şekil 1.2. Sistem kavramı.

Su, aynı zamanda hidrolojik çevrim esnasında yer yüzeyinden sökmüş olduğu katı taneleri akarsular vasıtasıyla deniz ve göllere taşıyıp yer kabuğu şeklinin değişmesine yol açmaktadır. Hidrolojik çalışmalar için Şekil 1.2’de gösterilen sistem kavramı önemlidir. Düzenli bir biçimde birbirleri ile bağlantılı olan ve çevresinden spesifik bir sınırla ayrılmış olan bileşenler takımına “sistem” adı verilmektedir (Meriç, 2007).

Hidroloji uygulamaları içerisinde sık kullanılan zaman serilerinin analizi için birtakım sorunlarla karşı karşıya kalınabilir. Bu sorunlar, tespit edilmesi gerekli değişkenlerin çok olması, dönemsellik ve eğilim bileşenlerini kapsamaması, rastlantısal ve değişken olması ve bundan dolayı zaman kaybına yol açması biçiminde tarif edilebilirler. Yapay zekâ ve otoregresif modellerden tek başına yararlanılmasının yanında beraber kullanılması hususunda değişik hibrit modellerle işlem yapılmıştır. Debi tahmininin tespit edilmesinde genellikle stokastik modeller kullanılırken günümüzde hidrolojik problem çözümlerinde hibrid modeller de oldukça hassas neticeler verdiği için tercih edilmektedir (Türkoğlu, 2013). Şekil 1.3’te Mühendislik gözüyle hidrolojik çevrim gösterilmiştir.



### 1.1.6. Yerkürenin su dengesi

Tabiat su miktarı açısından bir dengeye sahiptir. Su sınırsız bir tabii rezerv olup yer küresinde bulunan toplam su miktarı zaman içerisinde değişim göstermez ve yalnızca yer değiştirir. Uzun bir zaman dilimi dikkate alındığı zaman hidrolojik döngünün herhangi bir kısmına giriş ve çıkış yapan su miktarı birbirlerine eşit durumdadır. Mesela yer yüzeyine bir senelik zamanda düşen yağış miktarıyla o sene içerisinde buharlaşmayla havaya geri dönüş yapan su miktarı birbirine eşittir. Dünyada söz konusu miktar senede ortalama 100 cm düzeyindedir. Ülkemizde ise senelik ortalama yağış miktarı 65 cm seviyesindedir. Karalar üzerindeki senelik buharlaşma 48 cm, yağış miktarı 75 cm, denizlerdeki buharlaşma 118 cm yağış miktarı ise 107 cm'dir (Çizelge 1.1) (Berber, 2006).

Çizelge 1.1. Yağış istatistikleri

| Konum                   | Yağış Yüksekliği |
|-------------------------|------------------|
| Türkiye'de yağış        | 65 cm            |
| Karalar üzerinde yağış  | 75 cm            |
| Denizler üzerinde yağış | 107 cm           |
| Karalarda buharlaşma    | 48 cm            |
| Denizlerde buharlaşma   | 118 cm           |

Fakat kısa bir zaman aralığı seçilerek incelendiği zaman döngüdeki su miktarı oranında önemli değişimler olduğu görülebilir. Mesela bir yağış ölçeğine göre analiz edilen yağış miktarları farklı günlerde ciddi farklılıklar göstermektedir. Nicelikleri ve nitelikleri iyi tespit edilemeyen çok miktarda etkinin gerçekleştiği bu düzensiz durumlar hidrolojik olay incelemelerini zorlaştırmaktadır.

Rastgele bir zamanda suyun yerküresine ait farklı bölümleri arasındaki dağılımı incelendiği zaman %97,4 oranında oldukça önemli bir bölümün denizlerde bulunduğu görülmektedir. Diğer oranlar ise Çizelge 1.2'de gösterilmektedir. Havada ve karalarda yer alan 36 milyon km<sup>3</sup> tatlı su dağılımları ise şu şekilde sıralanmaktadır (Çizelge 1.3): %77,2'lik oranı buzullarda, % 12,3'lik oranı derin yer altı suyu olarak, % 10'luk oran yüzey yakınındaki yer altı suyu olarak, % 0,35'lik oranı göllerde, % 0,17'lik oranı zemin nemi olarak, % 0,04'lik oranı atmosferde, % 0,003'lük oranı akarsularda görülmekte olup, gelişigüzel bir zamanda atmosfer ve akarsulardaki su oranları oldukça az yüzdeye sahiptir. Ne var ki, hem

akarsular hem de atmosferden yoğun miktarda su çevrimi olmaktadır. Tüm bu durumlar neticesinde yer yüzeyinde ortalama olarak yıllık 100 cm yağış düşerken karasal bölümlere düşen yağışın %33'lük bir kısmı akarsu ve dereler vasıtasıyla yüzeysel akış şeklinde deniz ve okyanuslara iletilmektedir (Yenigün ve Gümüş, 2009).

Çizelge 1.2. Yer kürede suyun dağılımı.

| <b>Yerküredeki Suyun Konum</b> | <b>Hacim (10<sup>6</sup> km<sup>3</sup>)</b> | <b>Hacimsel Yüzdelik Oranı (%)</b> |
|--------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|
| Denizler                       | 1348                                         | 97,39                              |
| Buzullar                       | 27,82                                        | 2,010                              |
| Yer altı Suyu                  | 8,062                                        | 0,580                              |
| Göller, Akarsular              | 0,225                                        | 0,020                              |
| Atmosfer                       | 0,013                                        | 0,001                              |
| Toplam                         | 1348,12                                      | 100,0                              |

Çizelge 1.3. Yer kürede tatlı suyun dağılımı.

| <b>Yer Küredeki Tatlı Suların Konumu</b> | <b>Hacimsel Yüzdelik Oranı (%)</b> |
|------------------------------------------|------------------------------------|
| Buzullar                                 | 77,23                              |
| Yüzeye yakın yer altı suyu               | 9,860                              |
| Derin yer altı suyu                      | 12,35                              |
| Zemin nemi                               | 0,170                              |
| Göller                                   | 0,350                              |
| Akarsular                                | 0,003                              |
| Canlılar                                 | 0,003                              |
| Atmosfer                                 | 0,040                              |

## 1.2. Göl Su Seviyesi Kavramı

Bu bölümde göl su seviyesi kavramı hakkında bilgiler verilecektir.

### 1.2.1. Göl su seviyesi tanımı

Su birikintilerinin karayla çevrili, derin ve çukur alanlarına göl denmektedir. Göllerin mevsimlere göre belirlenen su miktarlarına “Göl Su Seviyesi” adı verilmektedir. Göllerdeki su seviyeleri her sene mevsimlere göre değişebilirken uzun periyotların üzerinde değişiklik ortaya koyabilir. Söz konusu değişimler belirli yerlerde kurulacak istasyonlarda düzenli şekilde monitörize edilebilir ya da bu seviye matematiksel yöntemlerden yararlanılarak öngörülebilir.

### 1.2.2. Göl su seviyesini etkileyen faktörler

Farklı sebepler nedeniyle dünya üzerindeki göl seviyelerinde zaman zaman değişimler görülmektedir. Bu nedenlerden en önemli olanları; sıcaklık, yağış, buharlaşma gibi iklimsel unsurlar, seş (seiche) olayı, göllere katılan yeraltı suları ve yüzeysel akışlar, tektonik hareketlerle sulama, içme suyu gibi antropojen sebepler nedeniyle göllerden yararlanmadır (Aydın ve Doğu, 2018).

### 1.2.3. Göl su seviyesinin önemi

Sağlıklı göller insanlara sadece bir takım çevresel yararlar sağlamanın yanında yaşam kalitesini etkilerken ekonomiyi de güçlendirmektedir. Uygun göl fonksiyonu, büyük miktarlarda su depolayarak ve kıtlık sırasında serbest bırakarak kuraklık ve sellerin etkisini hafifletebilmektedir. Göl su seviyesinden bununla birlikte endüstri için su kaynağı ve tarım için sulama kaynağı şeklinde de yararlanılabilir.

## 1.3. Rezervuar Su Seviyesi ve Kapasitesi Kavramı

Bu bölümde rezervuar su seviyesi ve kapasitesi kavramı hakkında bilgiler verilecektir.

### 1.3.1. Rezervuar su seviyesi tanımı

Rezervuar; su kaynaklarının depolanması, düzenlenmesi ve kontrolü amacıyla kullanılan doğal veya insanlar tarafından oluşturulmuş su kütlesi olup (Odabaşı, 2011) rezervuara ait

su seviyesi “Rezervuar Su Seviyesi” olarak tanımlanmaktadır. Bir rezervuarda çeşitli su seviyeleri tarif edilebilir. Bunlar; normal su seviyesi, maksimum su seviyesi, minimum işletme seviyesi, ölü hacim, canlı hacim, aktif (faydalı) hacim, aktif olmayan (kullanılmayan) hacimdir.

### **1.3.2. Rezervuar su kapasitesi tanımı**

Rezervuar toplam hacmi aktif ve ölü hacmin toplamından oluşmakta olup buna “Rezervuar Su Kapasitesi” adı verilir.

### **1.3.3. Rezervuar su kapasitesinin önemi**

Su kaynakları açısından önemli olan rezervuarlar tarım arazisinin sulanması, etrafında mesire yeri oluşturularak turizme kazandırılması, iç su yolu taşımacılığı gibi faydalarına ilave olarak, su seviyesinin çok yükselmesi halinde de su baskınlarıyla yerleşim yerlerini, kara ve demir yolu ulaşımını, kıyıda bulunan eğitim ve dinlenme tesislerini ve ekili tarım alanları olumsuz açıdan etkilemektedir (Şener ve Morova, 2014).

### **1.3.4. Rezervuar su kapasitesini etkileyen faktörler**

Günümüzde etkisini hissettiren küresel ısınma iklim değişikliklerini de beraberinde getirmiştir. Bu sorun, ekonomiden su kaynaklarına, enerjiden gıdaya tüm yaşam sektörlerini ve tüm varlık ortamını negatif açıdan etkilediğinden bütün sektörleri yakından ilgilendirmektedir. Bunlar arasında hidrolojik çevrimde tatlı su miktarı sabitken insan nüfusundaki artış ve teknolojiye bağlı olarak su kullanımında artan çeşitlilik dünyanın birçok bölgesini su stresi veya su kıtlığı ile karşı karşıya getirmiştir. Barajlar hem tarımsal sulama ihtiyacını hem de elektrik enerjisi taleplerini karşılamak için havza alanlarında belli oranda yağış almalıdır. İklim değişikliğinin etkisi nedeniyle düzensiz yağış rejimi, artan sıcaklıklar ve buharlaşma barajların hem beslenmesini hem de rezervuar alanlarını tehdit etmektedir (Aydın ve ark 2015).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Su seviyelerinde yapılan çalışmalar planlamacıların uygun kararlar vermelerine yardımcı olmaktadır. Suların aşırı kullanımı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, küresel olarak ciddi bir sorun haline gelmektedir. Baraj gölü suyu seviyesinin öngörülmesi, söz konusu kaynakların sürdürülebilir veriminin en önemli aşamalarından biridir. Baraj gölü suyu seviyesini tahmin etmek için kullanılan çeşitli teknikler arasında, zaman serisi modelleri, sistem tanımlaması ve yapay zekâ yöntemleri bu alanda çok yaygındır. Literatür taramasında, su seviyesinin tahminine yönelik çeşitli çalışmalar incelenmiştir. Çoklu Lineer Regresyon, Bulanık Mantık ve Destek Vektör Makinelerinin hangi çalışmalarda metot olarak kullanıldığı araştırılmıştır.

Rezervuar kapasitesini belirleme üzerine ilk çalışmalar Ripple (1883) ve Sudler (1927) tarafından klasik yöntemler kullanılarak yapılmıştır.

Irvine ve Eberhardt (1992), Erie ve Ontario gölleri için 1, 2, 3 ve 6 aylık ileri seviyeleri tahmin etmek için standart, aylık ortalama seviye verilerinden yararlanarak çok yönlü, mevsimsel ARMA modelleri geliştirmişlerdir. Fakat, ARMA veya Box-Jenkins gibi geleneksel yöntemler, belirli bir zaman serisinin temel bir doğrusal süreç oluşturulduğunu varsaymıştır. Bundan dolayı, doğrusal olmayan hidrolojik zaman serilerinin modellenmesi için her zaman iyi performans göstermeyebilecekleri tespit edilmiştir.

Vaziri (1997), Hazar Denizi'ndeki su yüzey seviyelerini tahmin etmek için ANN ve ARIMA modellerini kullanmıştır. Tanımlama aşaması, durağan olmayan bir zaman serisi yapmak için farklılaştırma gereksiniminin belirlenmesini ve durağan bir modelin ve modelin zamansal yapısının tanımlanmasını içermiştir. Ocak-Aralık 1993 dönemi için ANN ve ARIMA tahminleri kaydedilen seviyelere kıyasla çok makul çıkmıştır.

Compolo ve ark. (1999), havza çıkış noktalarındaki su seviyelerini tahmin etmek için farklı yağış-ölçme merkezlerinden elde edilmiş ve sınıflandırılmış yağış verilerinden faydalanmıştır. Compolo v.d. (1999) ve Minns ve Hall'un (1996) ortaya koyduğu model sonuçları, girdi olarak sadece yağış gözlemleri kullanıldığında oldukça yetersiz sonuçlar vermiştir. Modellerin doğruluk payı, yakın geçmişte gözlemlenmiş su seviyeleri de ayrıca

kullanıldığında gelişme göstermiştir. Tokar ve Johnson (1999) akış tahminlerinin doğruluk payında eğitim datalarının seleksiyonun güçlü etkisini ortaya koymuştur.

Liong ve ark. (2000) tarafından önerilen çalışmada, Dhaka (Bangladesh) bölgesinde su seviyesi tahmini için Bulanık mantık yaklaşımının uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bunun için, bulanık kural tabanlı bir taşkın modeli geliştirilmiş ve giriş değişkenleri üzerine bir duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu analizde, giriş değişken sayısı azaltılarak yeni model kurulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile bu bölgede daha önceden yapılan YSA tahmin model sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışmada, daha önceki tahmin modelinden daha az sayıda giriş değişkeni kullanılarak bulanık mantık ile daha etkili ve başarılı bir model geliştirilmiştir.

Mahabir ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada, BM yönteminin mevsimsel akışın tahmin edilmesinde uygulanabileceği araştırılmış ve Lodge Creek ve Middle Creek havzaları için bir uygulama yapılmıştır. Çalışmalarında, Lodge Creek havzası için kural tabanlı bir BM tahmin modeli geliştirilmiştir. Bu model daha sonra bu havzaya komşu Middle Creek havzası için test edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar, bu havzalar için daha önceden önerilen istatistiksel tabanlı çalışmalar ile karşılaştırılmış ve BM yönteminin davranışının klasik yöntemlere göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Nayak ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada, gerçek zamanlı taşkın modellemesinde, BM yönteminin yağış-akış ilişkisinin tespit edilmesinde uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bunun için, Narmada havzasında (Hindistan) saatlik akış ve yağış değişkenleri kullanılarak akarsu akış tahmin modelleri kurulmuş ve bulanık kural tabanlı taşkın tahmin modeli geliştirilmiştir. Çalışma sonunda, BM yönteminin yağış-akış analizinde başarılı bir şekilde uygulanabileceği görülmüştür.

Bulanık mantık modelleri geçmişte inşaat mühendisliğinde, su kaynakları ve yönetiminde de birçok kez kullanılmıştır. Keskin ve ark. (2004) Türkiye'de günlük pan buharlaşmasını bulanık modeller kullanarak tahmin etmişlerdir. Kazeminezhad ve diğ. (2005) Ontario Gölü'ndeki dalga parametrelerini tahmin etmek için Bulanık Mantık metodunu kullanmış ve Bulanık Mantığı, Kıyı Mühendisliğinde kullanılan Manuel yöntemlerden daha üstün bulmuşlardır.

Yurtçu ve İçağa (2005) yağış, akış ve buharlaşmanın etkisiyle, yeraltı su seviyesindeki (YASS) değişimin, bulanık mantık ile modellenmesini çalışmışlardır. Çalışmada, Akarçay havzası içerisinde yer alan Afyon alt havzasına ait gözlem istasyonlarından alınan 1977-1989 yıllarına ait verileri kullanmışlardır. İstasyonların aylık ortalama verilerini kullanarak, YASS'deki değişim bulanık mantık yaklaşımı ile modellemişlerdir. Bulanık mantık yaklaşımından elde edilen sonuçlar ile istasyonlardan alınan verilerin aylık ortalama değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu belirtmişlerdir.

Kisi (2006) günlük buharlaşma tahmininin doğruluğunu iyileştirmek için BM tekniklerinin yeteneğini araştırmıştır. Üneş (2006), da Tahtaköprü Barajı hazne seviye değişimlerini yapay sinir ağı modeli kullanarak tahmin etmiştir.

Mohammadi ve ark. (2006) Karun nehri üzerindeki Shaloo Köprüsü'ne ait 68 yıllık verilerle çalışmıştır. Nehrin akışını tahmin etmek amacı ile ARMA metodunu kullanmışlardır. ARMA metodunun parametrelerinde ise hedef programlama tercih edilmiştir. Çalışma sonucunda ARMA metodu olağan maksimum tahmin edilebilirlik yöntemine kıyasla daha iyi sonuç vermiştir.

Şen ve Altunkaynak (2006) tarafından yapılan çalışmada, İstanbul şehir sınırları içinde kalan drenaj alanı için akış ve akış katsayısının BM yöntemi ile tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, farklı yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, akış ve akış katsayısının tahmininde BM modelinin kullanılabileceği belirlenmiştir.

Kisi ve Öztürk (2007) evapotranspirasyon tahmini için BM hesaplama tekniklerini kullanmışlardır.

Fırat ve ark. (2007), Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık (USBM) yaklaşımı ile çeşitli etkenlere bağlı olarak değişen aylık su kullanımının tahmin edilmesini amaçlamışlardır. Bu amaçla yeterli sayıda veri toplamış ve eğitim ve test olmak üzere iki grupta inceleme yapmışlardır. Giriş değişkenlerin değişik bileşenlerinden meydana getirildiği modeller kurmuşlar ve aylık su tüketiminin tahmini için en uygun model yapısını incelemişlerdir.

Bütün modelleri USBM yöntemi ile eğiterek test etmiş ve gözlem değerleri ile karşılaştırılarak en uygun model yapısını belirlemişlerdir. Bu amaçla, Korelasyon Katsayısı (CORR), Verimlilik (E) ve Karesel Hataların Ortalamasının Karekökü (RMSE) yöntemlerle performans ölçümü yapmışlardır. Elden edilen sonuçlar, USBM yönteminin aylık su tüketimi tahmininde regresyon yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiğini ve su tüketimi tahmininde etkili bir şekilde uygulanabileceğini göstermiştir.

Doğan ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada Sapanca gölüne ait buharlaşma miktarları tahmin edilmeye çalışmıştır. Bu tahmin için kullandıkları yöntem ise maksimum ve minimum sıcaklık miktarları, gerçek güneşlenme süreleri, rüzgar hızı ve rölatif nem verilerini kullanarak; Radyal temelli yapay sinir ağları, Penman-Monteith modeli ve İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağları modellemesi olmuştur. Modelleri 39 km çevre uzunluğuna sahip, içme ve kullanma suyu olarak kullanılan ve bir tatlı su gölü olan Sapanca gölünde uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre problemin PM modeli için uygun olmadığı fakat İBGYYSA ve RTYSA için kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Esendal (2007), Eğirdir gölündeki mevsimlere göre su seviyesi değişimlerinin modellenmesi için bu çalışmada yazar bulanık mantık metodunu önermiştir. Yazar oluşturduğu bulanık mantık modeli ile yağış, akış, buharlaşma ve sulama suyu ihtiyacı değişkenlerinin fonksiyonu olarak Eğirdir gölündeki mevsimsel su seviyesi değişimini tahmin etmiştir. 1966-2000 yılları arasındaki verileri kullanmıştır. Sonuçların karşılaştırılmasında bulunan korelasyon katsayılarının genel olarak tatmin edici seviyede olduğunu belirtmiştir. Bulanık mantık ile güvenilir sonuçlara vardığını söylemiştir.

Ünes (2010) YSA tekniğini kullanarak baraj haznesindeki yoğunluk akımını ve parametrelerini belirlemiştir. Shiri ve ark. (2011) kısa süreli operasyonel su seviyesi tahmininde BM kullanmışlardır.

Vafakhah (2012), Gorgan Nehri'ndeki Hajighoshan ve Tamar'daki iki hidrometre istasyonunda ANN, BM ve ARMA'yı 1 gün, 2 gün ve 3 gün ileri akış tahminleriyle karşılaştırmıştır. Sonuçlar, YSA'ların ANFİS ve ARMA'dan 1 gün, 2 gün ve 3 gün önce akım tahminleri için üstün olduğunu göstermiştir.

Demirci ve Baltacı (2013) ABD'deki Sacramento Nehri üzerindeki askıdaki sediment tahmini için bulanık mantık yöntemini kullanmıştır.

Üneş ve Varçin (2015), farklı mevsimler için gerçek bir baraj rezervuar akışını simüle etmek için gerçek bir baraj rezervuarının üç boyutlu bir hidrodinamik modelini geliştirmişlerdir. Model, doğrusal olmayan ve kararsız süreklilik, momentum, enerji ve  $k-\epsilon$  türbülans modeli denklemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bir baraj rezervuarındaki akışa Coriolis kuvvet etkisini dahil etmek için Coriolis kuvvet parametresi de model denklemlerine eklenmiştir. Bu denklemler, baraj ve rezervuarın gerçek boyutları, şekli, sınırı ve başlangıç koşulları kullanılarak oluşturulmuştur. Geliştirilen matematiksel model, mevsimsel ısı değişimleri için rezervuar sisteminin akış ve termal özelliklerini simüle edebilmektedir. Elde edilen model simülasyon sonuçları, farklı mevsimlerdeki akışlar için ölçüm istasyonlarından elde edilen saha ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, alan ölçümleriyle iyi bir uyum göstermektedir.

Yaseen ve ark. (2016), göl seviyesi öngörüsü için önemli bir etken olan göl seviyesindeki dalgalanmaların tahmini ve bu tahminin bütünlendiriciliği ile göl seviyesinin tahmini için çalışmışlardır. Bu çalışmada, ARMA, BM ve SVR metodları kullanılmıştır. Çalışma sonunda tüm modeller orijinal göl seviyesi zaman serileri elde etmek için toplanmıştır. Toplam sonuç modellerin tek başına verdiği sonuç ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, entegre modellerin tüm modellere nazaran daha hassas sonuç verdiğini ifade etmişlerdir.

Onur ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada İstanbul Terkos Baraj Gölü uygulama alanı seçilerek gelecekteki su seviyesini tahmin edilmesi için günümüz ve yakın geçmişteki veriler kullanılarak bir tahmin mekanizması oluşturulmaya çalışılmıştır. Yapılan uygulamada; Terkos Barajında son 12 yılın su değerleri yardımıyla, ANFIS yöntemi ile bir modelleme mekanizması kurarak gelecekte su değerlerinin en doğru şekilde tahmin edilmesi araştırılmıştır. Değerler incelendiğinde hibrit fonksiyonlarının hatalarının daha düşük olduğu fakat yeterli olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni; geri besleme yöntemi ile hibrit arasındaki farktır. Hibrit yönteminde karesel ortalama hatanın daha önemli olması, verilerin KOH dikkate alınarak eğitime daha yatkın olmalarıdır. Sadece Hibrit gaussmf ANFIS barafonksiyonu istenilen değerlere en yakın değer olup %1 en yaklaşan değerdir.

Das ve ark. (2016) yaptıkları çalışmada rezervuar su seviyesinin günlük bazda tahmin edilmesi için üstel kalıntı düzeltmeli Hibrit Bayes ağ modeline dayalı yeni bir olasılıklı doğrusal olmayan yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşım, 22 yıllık tarihi bir veri seti kullanılarak Mayurakshi rezervuarının (Jharkhand, Hindistan) günlük su seviyelerini tahmin etmek için uygulanmıştır. Doğrusal model (ARIMA) ve doğrusal olmayan yaklaşımlar (YSA, standart Bayes ağı (BN)) ile çeşitli performans ölçütleri açısından karşılaştırmalı bir çalışma da yapılmıştır. Önerilen yaklaşım, tahminin her yönüyle gözlemlenen değerlerle karşılaştırılabilir ve kıt veri olması durumunda, özellikle yağış ve diğer meteorolojik veriler gibi zorlayıcı parametreler bulunmadığında uygulanabilir.

Hernandez-Ambato ve ark. (2017), bir hidroelektrik barajındaki rezervuar seviyesini tahmin için akım akışı ve istenen aktif güce dayalı olarak bir metodoloji sunmuşlardır. Model tahminlerinde Yakın Döngü (CLP) ve Açık Döngü (OLP) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) modellerini kullanmışlardır. Tahmin sistemi Ekvator'daki bir hidroelektrik santralinde test edildi. Tahminin başarı yüzdesine ilişkin olarak, akım akışı tahmin edicilerinin ve baraj modelinin farklı kombinasyonlarından elde edilen sonuçlar arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. CLP yöntemi rezervuar seviyesi tahminleri için iyi bir doğruluk ortaya koymuştur.

Üneş ve ark. (2019a) tarafından yapılan çalışmada günlük rezervuar düzeylerinin tahmini için uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), destek vektör makineleri (DVM), radyal bazlı sinir ağları (RBNN) ve genelleştirilmiş regresyon sinir ağları (GRNN) yaklaşımları kullanılmıştır. Özellikle, rezervuar seviyesi için bir tahmin modeli olarak ANFIS'in fizibilitesi araştırılmıştır. ABD'deki Alabama Nehri'ndeki Millers Ferry Barajı, ANFIS, DVM, RBNN ve GRNN'nin fizibilitesini ve kapasitesini göstermek için bir vaka çalışması alanı olarak seçilmiştir. Model sonuçları geleneksel oto-regresif modeller (AR), oto-regresif hareketli ortalama (ARMA), çok doğrusal regresyon (MLR) modelleri ve en iyi giriş kombinasyonları için yapay zeka modelleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları ANFIS modellerinin rezervuar seviyesini tahmin etmede klasik ve diğer yapay zeka modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Üneş ve ark. (2019b) yaptıkları çalışmada, ABD'deki Stony Brook barajının rezervuar kapasitesini, Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırması'ndan alınan 3726 veri kullanılarak, Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRNN), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve M5 Karar Ağacı (M5T) yöntemleri ile tahmin etmişlerdir. Modeller, ortalama mutlak hata (MAE), kök ortalama kare hatası (RMSE) determinasyon katsayısı olmak üzere üç istatistiksel kritere göre birbirleriyle karşılaştırıldı. Çalışma sonucunda Destek Vektör Makineleri (SVM) modellerinin baraj rezervuar seviyesini tahmin etmede kullanılan diğer yapay zekâ modellerine göre daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür.

Parada ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada Katalan baraj gölündeki su seviyesini tahmin etmek için su seviyesini kullanarak tek değişkenli ve meteorolojik verileri ekleyerek çok değişkenli en gelişmiş iki yaklaşım yöntemi karşılaştırılmıştır. İlgili çalışmalar kapsamında, yüksek hassasiyet sağlayan daha uzun süreli bir dizi tahmini içermesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Destek Vektör Makinesi ile çok değişkenli yaklaşımın birleştirilmesinin 0,99'luk bir  $R^2$  değeri ile en yüksek hassasiyeti sağladığını göstermektedir.

Üneş ve ark. (2019c) tarafından yapılan çalışmada yeraltı suyu seviyesinin doğru ve güvenilir tahmini, su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetimi için önemlidir. Bu çalışmada, çoklu lineer regresyon (MLR) yöntemine sahip uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) modelleri ve yeraltı suyu düzeyini öngörmedeki performansı araştırılmıştır. Uygulama alanı olarak Hatay'ın Dört Yol ilçesi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) 5512 kuyusuna uygulanmıştır. Çalışmada, Yağış (P), ortalama hava sıcaklığı (T), bağıl nem (RH), rüzgâr hızı (W) yeraltı suyu seviyesi (GWL) zaman serisi gibi hidrolojik parametreler dahil olmak üzere 2000 ve 2015 yılları arasında 147 aylık veri setleriyle, kullanılan yeraltı suyu seviyesinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. İstatistiksel performans değerlendirme kriterleri olarak determinant katsayısı ( $R^2$ ), ortalama kare hatası (MSE) ve ortalama mutlak hata (MAE) kullanılmıştır. Bu çalışma sonucunda MLR ve ANFIS modelleri GWL tahmini için iyi performans göstermiştir. Özellikle, ANFIS modeli MLR modelinden daha iyi sonuç vermiştir.

Hin ve Othman, (2020)., Chini Gölü su seviyesi tahmini için sınıflandırma teknikleri ile veri madenciliği yaklaşımı kullanarak çeşitli algoritmaları karşılaştırarak üretmek amacıyla bir çalışma yapılmışlardır. 2011 ve 2014 yılları arasında yedi gözlem istasyonundan elde edilen veriler, Malezya Kebangsaan Üniversitesi Pusat Penyelidikan Tasik Chini'den toplanmış ve bu amaçla özellikle Melai istasyonundan veriler kullanılmıştır. Göl su seviyesi tahmini için Karar Ağacı, Yapay Sinir Ağı ve Destek Vektör Makinesi yöntemlerini kullanmışlardır.



### 3. MATERİYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada, Keban Baraj gölünün günlük su seviyesini tahmin etmek için BM, DVM ve Çoklu Lineer Regresyon yöntemleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar gerçek gözlem verileri ile değerlendirilmiştir. Baraj rezervuar seviyesinin doğru tespiti ve tahmini, rezervuar yönetiminde ve işletilmesinde daha iyi kararların alınmasına yardımcı olacaktır. Bu tahminler sadece su kaynaklarının yönetimini optimize etmekle kalmaz, aynı zamanda bir rezervuarın güvenliğini de sağlar.

Bu çalışmada Elazığ'ın Keban ilçesinde bulunan Keban Baraj Gölü'ne ait 2013 – 2014 yılları arasındaki günlük su seviyesi ölçüm değerleri ile Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden alınan enerji gayesi, günlük toplam su sarfıyatı ve toplam buharlaşma miktarı değişkenleri kullanılarak Bulanık Mantık (BM) ve Çoklu Lineer Regresyon yöntemleri ile günlük hazne seviyesi tahmini yapılmıştır.

Keban Barajı, beton ağırlık ve kaya dolgu tipi olan barajın gövde hacmi 16 679 000 m<sup>3</sup>, akarsu yatağından yüksekliği 210 m, normal su kotunda göl hacmi 31 000 hm<sup>3</sup> normal su kotunda gölalanı 675 km<sup>2</sup>'dir.

Keban Baraj Gölü bu özellikleriyle Türkiye'nin Atatürk Barajı'nın gölünden sonra en büyük yapay gölüdür. Doğal göllerle bir arada sıralandığında Van Gölü, Tuz Gölü ve Atatürk Baraj Gölü'nün ardından 4. sırada yer almaktadır. Baraj gölünün Murat Nehri Vadisi boyunca uzunluğu 125 km'dir. Genişliği yer yer değişmektedir. Keban baraj gölünde elektrik üretiminin yanı sıra su avcılığı yapılmakta ve balık üretimi de gerçekleştirilmektedir. Gölün etrafında Elâzığ ve çevre illerin halkının faydalandığı eğlence ve mesire yerleri mevcuttur. Üzerinden feribotla Elâzığ'ın Ağın, Tunceli'nin Pertek ve Çemişgezek ilçelerine geçiş yapılabilmektedir.

Enerji açısından Türkiye'nin ilk dev yatırımlarındandır. 1965 yılında yapımına başlanılmıştır. 1974 yılında ilk 4 büyük tribünü, 1981 yılında da diğer 4 türbini devreye girdi. Barajın toplam kurulu gücü 1330 Megawatt olup yıllık enerji üretimi 6 Milyar kWh

dir. Kurulduğunda Türkiye’de üretilen elektriğin %20 sini tek başına karşılamıştır. Keban Barajı böylece 1950’lerde Hirfanlı Barajı ve Sarıyar Barajı’nda büyük baraj inşaatı tecrübesini kazanmış Türk mühendisliğinin ortaya koyduğu ilk dev baraj olup, gururu ve alınını nakıdır.

Baraj mevkii Elâzığ'ın 45 km kuzeybatısında, Malatya'nın 65 km kuzeydoğusunda olup, Karasu ve Murat nehrinin birleştiği yerden 10 km daha aşağıda nehrin aktığı en dar boğazlarından birindedir. Karasu ile Murat nehirlerinin birleşmeleri ile meydana gelen Fırat nehrinin bu birleşme noktasından itibaren ilk uygun baraj yeridir. Fırat nehri yılın muhtelif zamanlarında çok farklı bir akım düzenine sahiptir. Ortalama geçen su miktarı  $635 \text{ m}^3/\text{sn.}$ 'dir. Kış aylarında ortalama debi 200 ile  $300 \text{ m}^3/\text{sn.}$  arasında değişir. Nehrin bir yıl içinde geçirdiği suyun %70'i kar erime mevsiminde yani Mart ile Haziran ayları arasında geçer. Keban Barajına ait görseller Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Keban barajı

### 3.2. Yöntem

#### 3.2.1. Bulanık mantık kavramı

Bilim dünyası tarafından yararlanılan Aristo Mantığı sadece 0 ve 1 ilişkisi içermektedir. Aristo mantığında uzuna yakın kısa ya da siyaha yakın beyaz mevcut değildir. Hava durumunda sıcaklık sadece soğuk ve sıcak şeklinde nitelendirilir. Ancak gündelik yaşamda griler, orta boya sahip bireyler ve ılık havalar da bulunmaktadır (Taheri, 2013). Aristo mantığı nedeniyle bilim dünyası gündelik yaşamdan uzaklaşmıştır. Aristo Mantığıyla izah edilemeyen problemler içinde ve 0-1 mantığı doğrultusunda dikkate alınmayan parametrelerin denklemde önemli netice değişikliklerine yol açmasından dolayı sadece ‘sıcak’ ya da sadece “soğuk” yerine “ılık” benzeri kavramların denklem içerisine yerleştirilmesini temin eden “Bulanık Mantık” bilhassa günümüzde bilim dünyasında kendisine yer bulmuştur (Maruf, 2019).

#### Bulanık mantık ve belirsizlik kavramı

Gündelik hayatta net bir biçimde bilinmeyen birçok durumla karşılaşmaktadır. Daha öncesinden kesin olarak düşünülen olay ve vakaların sonuçları incelendiği zaman böylesi durumlarla esasen kesinlik göstermeyen durumlar şeklinde karşı karşıya kalınmaktadır (Arslan, 2019). Söz konusu vaziyet; kesinlikten uzak, belirsizlik ve bulanıklık gibi sebeplerden ileri gelmektedir. İnsanoğlu zihninin çeşitli olayları ve durumları net bir şekilde kavrayamaması, bu durum ve olayları gerçekleştirebilecek olasılıkların tümüyle canlandırması ile belirsizlik durumu oluşmaktadır (Şentürk, 2006).

Belirsizlik kavramı için örnek verilmesi gerekirse; benzer evdeki aynı sayıda bulunan bireyler için yaz ve kış mevsimlerinde gereksinim duyulan ekmek miktarı aynı olmaz. Bireylerin sahip olduğu yaş, kış ve yaz mevsimlerinde harcamış oldukları enerjiyle bağlantılı şekilde bireylerin acıkma durumu doğrultusunda ekmek gereksinimi meydana gelmektedir. Bu durum şartlara bağlı farklılık arz eden bir belirsizlik durumudur (Sugeno, 1985).

Bulanık mantık farkına varılmadan insanlarca en fazla yararlanılan kontrol sistemleri arasındadır. Mesela çok yaşlı, çok şişman, çok soğuk vb. nitelendirmeler esasen bulanık bir formda belirtilmektedir. Çünkü bulanık mantık kapsamında yalnızca kilolu ve zayıf, yalnızca yaşlı ve genç, yalnızca sıcak ve soğuk biçiminde iki yapıya sahip bir kontrolden fazlası mevcuttur. Bulanık (belirtisiz) mantık, klasik mantık sınırlarının dışarısına çıkılması fikri ile belirmiştir. Zadeh, gerçek dünyada yaşanan her şeyin matematik içindeki kesin kalıplara uymasının gerekli olmadığını ileri sürmüştür (Zadeh, 1998).

Zadeh, gerçek hayatta keskin çizgilerin olmadığını ifade etmiştir. Her unsur yok-var, hayır- evet, yanlış-doğru gibi kesin kalıplara oturtulmamalıdır. Üyelik dereceleri verilecek olursa her şeyden belirli düzeyde yok veya var olma biçiminde kontrol sağlanabilirken bu da günümüzün yaşamına daha uygun bir teoridir (Pek, 2019).

Bulanık mantık ve bu mantık kurallarından yararlanan bulanık küme teorisinin Zadeh tarafından 1965'teki çalışmasının yayımlaması sonrasında belirsizliğe sahip olan sistemlerin analiz edilmesi yeni bir boyut kazanmıştır. Japonlar tarafından 1985 yılı sonrasında imal edilen ürünlerde bulanık mantıktan yararlanılmasıyla ivme kazanarak bugün kendine yer bulmuştur (Pek, 2019).

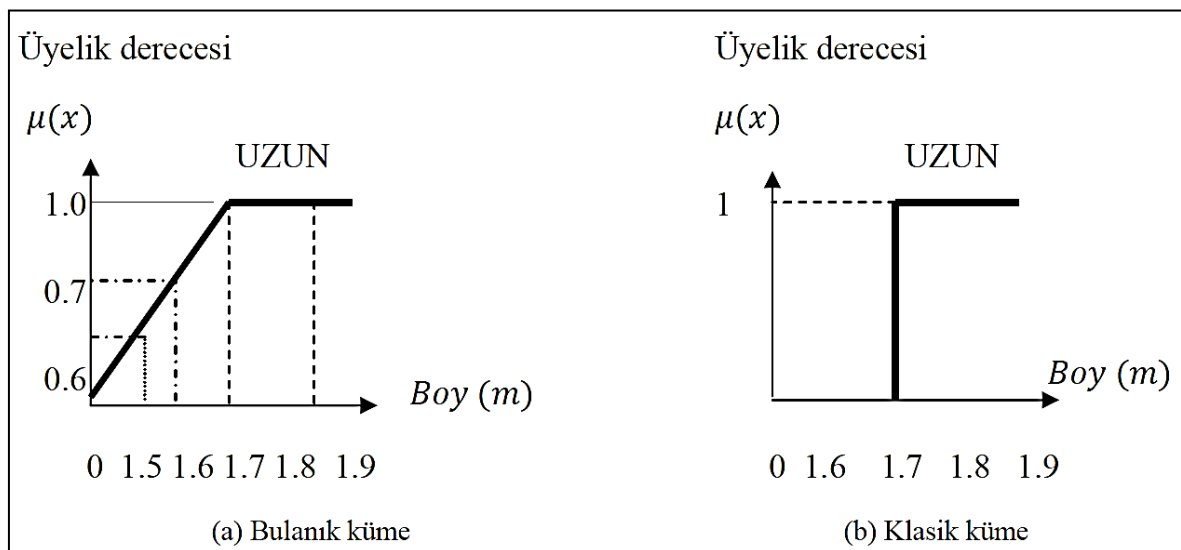
### Bulanık küme teorisi

Daha önce de ifade edildiği gibi gündelik yaşamdaki pek çok olay ve durumun kesin biçimde tanımının yapılması içerdiği belirsizliklerden dolayı çok da olası değildir. Çünkü gerçek yaşam gereğinden çok karmaşık bir yapıyı bünyesinde bulundurmaktadır (Ballı, Uğur ve Korukoğlu, 2009).

Bulanık küme teorisi, çoğunlukla bireylerin kesin olmayan sübjektif yargılarını içeren kavramların ölçüm ve değerlendirmesinin yapılabilmesini temin eden oldukça önemli bir vasıta. Bu sübjektif yargıların ifade edilmesinin en kolay yolları arasında sözel (dilsel) parametrelerden faydalanarak belirtilmesi gelmektedir. Dilsel (sözel) parametre kavramların, sayısal ya da kompleks formatta net şekilde belirtilemeyen durumların açıklığa kavuşturulması adına oldukça pratiktir (Yalçın, Bayrakdaroglu ve Kahraman, 2012).

Gündelik hayatta “*muhtemelen öyledir*”, “*çok iyi*”, “*pek açık değil*”, “*çok kötü*”, “*çok muhtemel*”, gibi ifadelerle sıkça karşılaşmaktadır. Bulanık kümeler teorisi kapsamında, kümede bulunan her bir eleman, klasik küme teorisine benzer şekilde “*kümenin elemanı*” veya “*kümenin elemanı değil*” biçimindeki ifadelerin tersine her bir eleman belli bir dereceye kadar kümenin üye elemanı şeklinde görülmektedir (Kaptanoğlu ve Özok, 2006).

Geleneksel küme teorisine göre keskin sınırlı küme kavramından yararlanılmaktadır. Bu teori bir objenin herhangi bir kümeye dâhil olup olmamasına bağlı olma durumu gibi 2 durumlu bir temeli esas almaktadır. Çeşitli üyelik derecesine sahip elemanları olan yapı belirtsiz kümedir. Bulanık küme “*var-yok*” biçimindeki 2 seçeneğe sahip üyelik durumunu kısmi üyelik kavramına genelleştirmektedir. Bu durumda bulunan “*1*” değeri kümeye tam üyeliği, “*0*” değeri ise kümeye üye olmamayı belirtirken, “*0*” ve “*1*” arası değerler ise kısmi üyelik kavramını belirtmektedir. Bulanık küme elemanı, değişken özelliklerine herhangi bir etki ortaya koymadan diğer üyelik derecesiyle başka bir kümenin de elemanı olabilir. Bulanık kümeler, alışlagelmiş kümelerle karşılaştırıldığı zaman bulanık veya belirsiz sınıra sahip küme şeklinde de tarif edilebilir. Dilsel terimler, bulanık küme kavramında da tanımlanabilmektedir. Şekil 3.2, bulanık ve klasik kümeler üyelikleri göstermektedir. Şekillerin gösterdiği üzere klasik kümeler bir elemanı ya kabul eder veya kabul etmemektedir. Ne var ki bulanık kümede, elemanlar herhangi bir üyelik derecesi ile kabul edilmektedir (Salimiasl, 2014).



Şekil 3.2. Bulanık (sağda) ve klasik (solda) kümeler (Dülger, 2009).

Klasik kümelerin ifade edilmesinde karakteristik fonksiyonlar kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar her bir üye elemana bir ve sıfır değerlerinden birini, üyelik derecesi doğrultusunda atayarak evrensel küme içinde tarif edilen ve ilgilenilen özellikleri taşıyan üyelere meydana gelen kümeyi belirtmektedir. Klasik küme yaklaşımına göre, bir kümede bulunan alt kümenin kendine ait karakteristik fonksiyonla ifade edilmektedir. Sözü edilen karakteristik fonksiyon üyeleri  $\{0,1\}$  kümesi şeklinde de ifade edilmektedir. Denklem 3.1, Klasik bir kümeyi karakteristik ifade yardımıyla göstermektedir (Eranıl, 2008).

$$X_A: X \rightarrow \{0,1\} \quad (3.1)$$

$$\forall x \in X, X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

Denklem 3.1’de gösterildiği gibi A kümesi elemanları “1” değerinde iken, A kümesinde olmayanlar ise “0” değerindedir. Klasik küme elemanı birden fazla kümenin elemanı olamazken üyesi olduğu kümelere de aynı üyelik derecesiyle bağlıdır. Bu fonksiyonda “1” değerine sahip elemanlar veya veriler meydana gelen kümeyi tespit ederken bununla birlikte klasik bir veri için de üye olmadan üye olmama durumuna geçişin keskin olduğu görülür (Çemrek ve ark., 2010).

Bulanık küme yaklaşımına göre, bulanık kümeleri içeren bir evrensel kümedeki verilerin üyelik geçişleri kademeli şekilde meydana gelmektedir. Verilerden herhangi biri, bir kümeye dâhil olacak ise sözü edilen verinin o kümeye üye olma kademesi de söz konusu olur. Bu derecelendirmeye bulanık küme sınırlarında belirsiz bir durum meydana gelmektedir. Bundan dolayı bir verinin bir kümeye ait olması halinde belirsizliği ölçmek için kullanılan fonksiyon tanımlanır. Bu fonksiyonla evrensel kümeye ait elemanlar belli aralıkta gerçel sayılara denk düşürülerek getirilerek, veriler arasında derecelendirme meydana getirilmektedir. Kümedeki verilerin aldığı değerlerin yüksekliği, üyelik derecelerinin de yüksek olduğunu belirtmektedir. Netice olarak da meydana gelen fonksiyona “Üyelik Fonksiyonu”, bu fonksiyon tarafından meydana getirilen kümeye de “Bulanık Küme” adı verilmektedir (Bağcı, 2018).

Bulanık bir A kümesi aşağıdaki denklem vasıtasıyla şöyle ifade edilebilmektedir:

A kümesinin boş olmayan bir küme olduğu varsayılarak; X kümesinde bulanık olan A kümesi, denklem 3.2'deki şekilde yazılabilir.

$$\forall x \in X \Rightarrow \mu_A(x): X \rightarrow [0, 1] ; X = \text{Evrensel Küme}; A \subset X \quad (3.2)$$

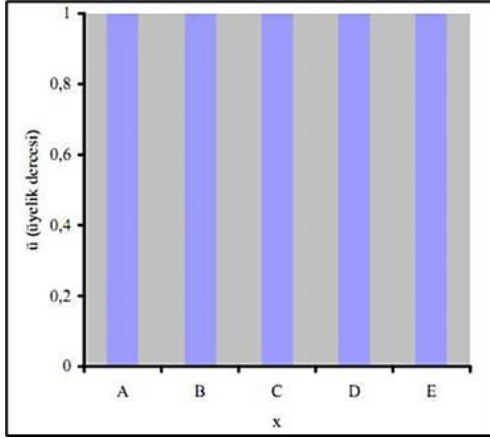
Denklem 3.2'deki  $\mu_A(x)$ , bulanık kümeye karşılık gelen üyelik fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır (Zadeh, 1971). Bu fonksiyon A kümesi üyelerinin arzu edilen karakteristiği ne kadar yerine getirdiğini ifade etmektedir (Klir ve Yuan, 1995).

Bulanık küme kuramına göre bir veri,  $[0,1]$  aralığındaki üyelik derecesiyle bir kümeye ait olmaktadır. Bir diğer ifadeyle bulanık küme kuramında bulanık bir kümeye ait eleman, *“Bir kümeye biraz ait veya biraz ait değildir”* olarak belirtilmektedir. Bununla birlikte bulanık küme elemanı birbiriyle aynı ya da farklı üyelik dereceleri ile birden çok kümede de bulunabilir. Klasik küme kuramında olduğu şekilde ya hep ya hiç ilkesi bulanık kümelerde yoktur (Şentürk, 2006).

#### Bulanık mantık üyelik dereceleri

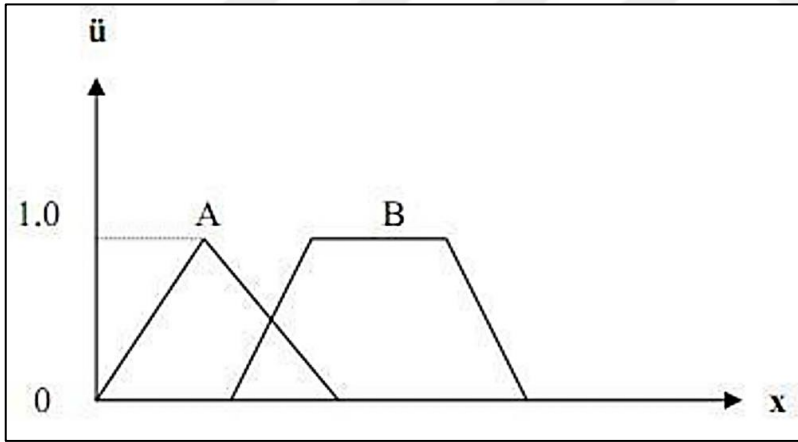
Bulanık mantık temeline dayanılarak meydana getirilen bulanık kümeler, dilsel kavramların ve ifadelerin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi adına oluşturulan sayısal modellerdir. Klasik kümelerde, küme elemanları arası geçişlerin keskin ve ani olmasının yanında elemanların üyelik dereceleri de klasik kümeler için 1'dir. Klasik kümeye ait elemanlardan herhangi biri tanımlanan kümenin elemanı üyelik derecesi “1”ken tarif edilen kümenin elemanı değil ise üyelik derecesi “0”dır. Şekil 3.3, A, B, C, D ve E elemanlarının x kümesine ait olduğu için eleman üyelik derecelerinin bire eşit olduğunu göstermektedir (Şen, 2004).

$$x = \{A, B, C, D, E\} ; \mu_A = \mu_B = \mu_C = \mu_D = \mu_E = 1.0 \quad (3.3)$$



Şekil 3.3. Klasik kümelerdeki sabit üyelik dereceleri ile ilgili örnek (Ülker, 2011).

Şekil 3.4'te görüleceği gibi bulanık mantık temeline dayanarak meydana getirilen kümelerde üyelik derecesi değeri yalnızca 1 değerini almazken [0-1] arasındaki değişik değerleri de alabilirler. Bu kümelerde yatay ekseninde bulunan reel sayılardan her biri, öteki ekseninde [0-1] arasında değişik değerler alabilen üyelik derecelerine denk gelmektedir (Şen, 2004).



Şekil 3.4. Bulanık kümelerdeki değişken üyelik derecelerine bir örnek (Şen, 2004).

Genel manada klasik bir “x” kümesinde bulunan elemanlar,  $x = \{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots\}$  biçiminde belirtilmektedir. Bulanık bir “x” kümesindeki elemanlar ise kendilerine ait üyelik dereceleri ile beraber;

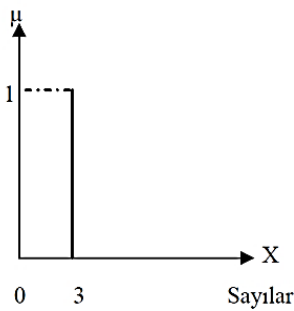
$$X = \left\{ \frac{\bar{u}(x_1)}{x_1} + \frac{\bar{u}(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum \frac{\bar{u}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.4)$$

biçiminde belirtilmektedir. Denklem 3.4'te,  $\mu(x_i)$  üyelik derecesini tarif ederken  $x_i$  ise eleman değerini ifade etmektedir. Bir bulanık kümenin süreklilik ortaya koyduğu koşullarda ise denklem 3.5'te gösterildiği şekilde olmaktadır (Şen, 2004).

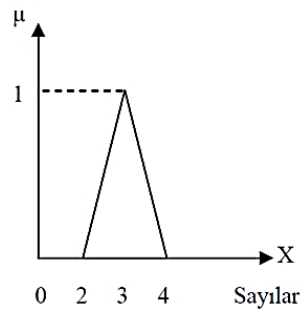
$$X = \left\{ \int \frac{\mu(x)}{x} \right\} \quad (3.5)$$

#### Bulanık mantık üyelik fonksiyon türleri

Uygulamaların pek çoğunda üyelik fonksiyonu, Şekil 3.4'te gösterilen UZUN gibi basit bir biçimde olmamaktadır. Şekil 3.5, üyelik fonksiyonlarının alabilecekleri olası temel şekiller göstermektedir. Konuşma dilinde yararlanılan her bir nitelik sahibi tanımlamalar bir üyelik fonksiyonu şeklinde yazılmaktadırlar. Uygulanan sınırlarda ve her noktada üyelik sınıfları belirlenmektedir. Bulanık mantık kuramında sözel ifade kolaylığını temin edecek biçimde bölge sınırlarını ifade etmede ve algılayıcı bilgileriyle ilgili üyelik ağırlıklarının saptanmasında yararlanılmak için uygun üyelik fonksiyonlarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu fonksiyonlar, sistem değişkenlerini tanımlamaktadır. Söz konusu fonksiyonların şekli ve sayısı ile ilgili herhangi bir sınırlama bulunmamaktadır. Tamamen tasarımcı kişinin tecrübesi ve isteğine bağlıdır. Şimdiye yapılan çalışmalar incelendiğinde en fazla çan, yamuk, üçgen eğrisi şeklindeki üyelik fonksiyonlarının kullanıldığı görülür (Öztürk, 2011).

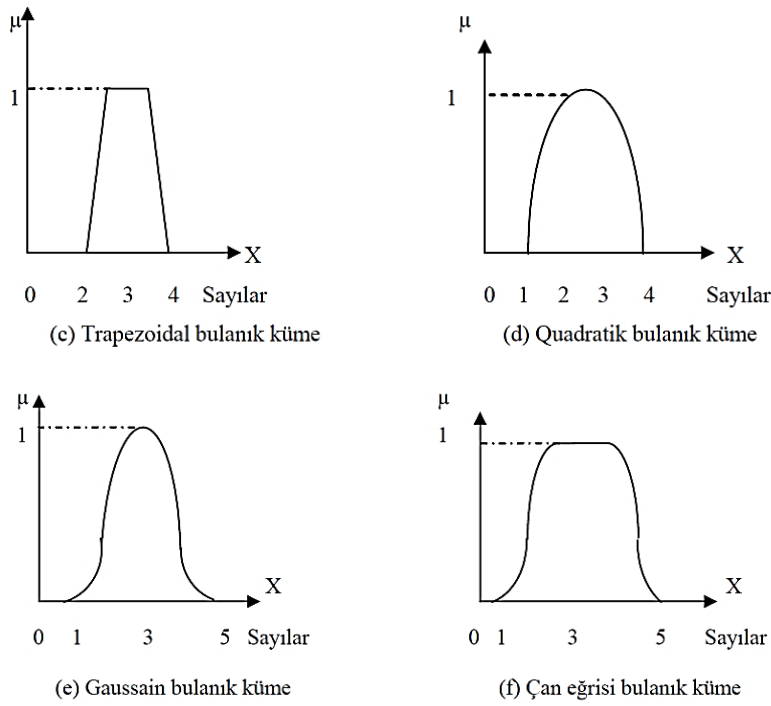


(a) Klasik (crisp) küme



(b) Üçgensel (Triangular) bulanık küme

Şekil 3.5. Üyelik fonksiyonlarının alabildiği değişik şekiller (Dülger, 2009)

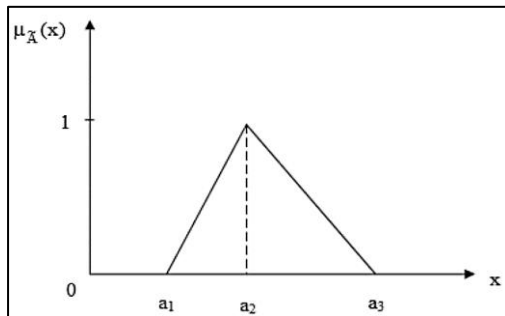


Şekil 3.5. (Devam) Üyelik fonksiyonlarının alabildiği değişik şekiller (Dülger, 2009).

Üçgen üyelik fonksiyonu: Üçgen üyelik fonksiyonu, bulanık mantık temeline dayanan sistemlerde çıkış ve giriş parametrelerini ifade etmek için kullanılmaktadır. Bu fonksiyon “ $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$ ” şeklinde 3 parametreyle özel hale getirilmiştir. Oldukça çok yararlanılan söz konusu fonksiyon denklemi, aşağıda gösterilmektedir (Denklem 3.6) (Elmas, 2003).

$$\mu_{\tilde{A}}(x; a_1; a_2; a_3) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} ; a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3-x}{a_3-a_2} ; a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0 ; x \leq a_1 \text{ veya } x \geq a_3 \end{cases} \quad (3.6)$$

Şekil 3.6, üçgen üyelik fonksiyonunu ve bu fonksiyona ait parametreler yer almaktadır.



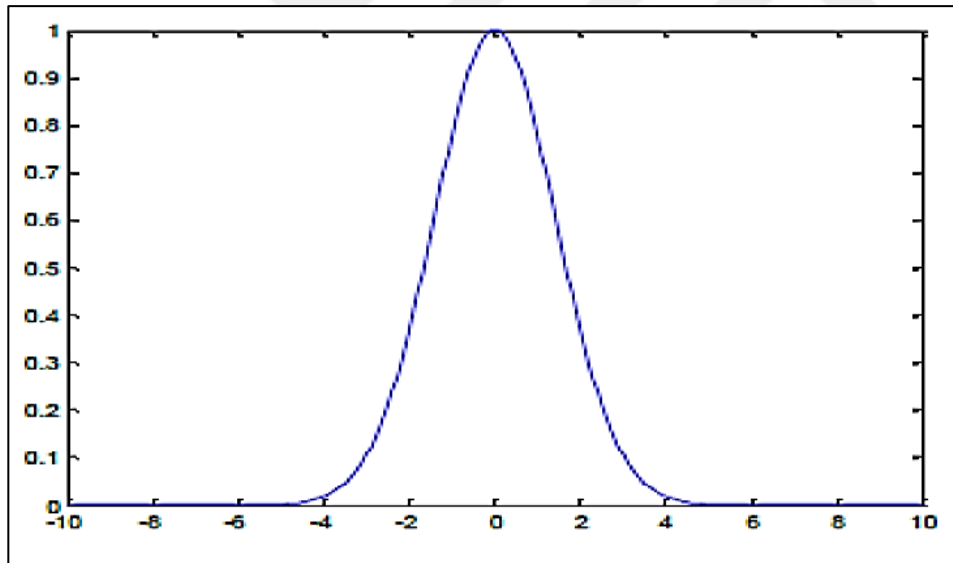
Şekil 3.6. Üçgen üyelik fonksiyonu (Dönmez, 2012).

Yamuk üyelik fonksiyonu: Bu fonksiyondan da gerek giriş gerekse çıkış değişkenlerinin tanımlanması için yararlanılmaktadır. Söz konusu fonksiyon  $\{a, b, c, d\}$  olmak üzere 4 parametre ile spesifik duruma gelmiştir. Denklem 3.6, bu fonksiyona ait denklemi göstermektedir (Jang, Sun ve Mizutani, 1997).

Gauss üyelik fonksiyonu: Bu fonksiyon iki parametre  $\{c, \sigma\}$  ile özelleştirilmiştir. Denetlenmesi istenen sistemler için çıkış ve giriş değişkenlerinin ifade edilmesi amacıyla yararlanılabilmektedir. Bu üyelik fonksiyonuna ait matematiksel ifade Denklem 3.7’de gösterilmektedir (Elmas, 2003).

$$Gauss(x; c, \sigma) = e^{\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (3.7)$$

Şekil 3.7, Gauss üyelik fonksiyonunu ve bu fonksiyona ilişkin değişkenleri göstermektedir.



Şekil 3.7. Gauss üyelik fonksiyonu (Elmas, 2003).

#### Üyelik fonksiyonlarının kısımları

Üyelik fonksiyonu; sınır, destek ve çekirdek özellikleri tanımlanır. Bulanık sistemlere ait evrensel kümede üyelerin fonksiyon içinde “1” değeri aldığı bölüm, çekirdektir. Bulanık küme üyelerinin fonksiyon içinde “0” dışında değerler aldığı bölüm, destek kısmıdır. Sınır ise üyelerin fonksiyon içerisinde 0 ile 1 arasında değer aldıkları kısımdır (Nurduhan, 2017).

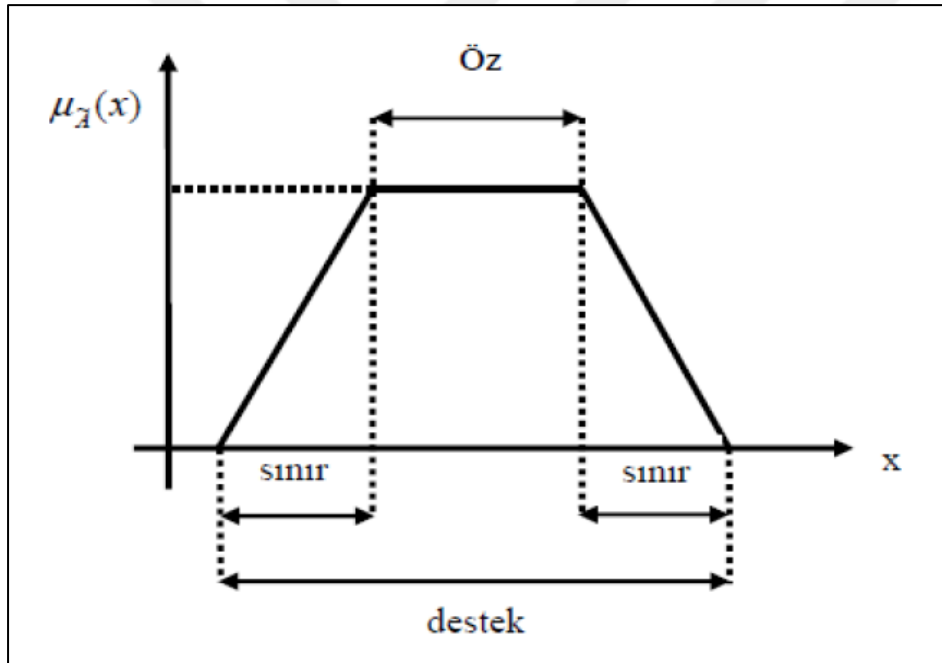
Destek, sınır ve çekirdek kısımlarının matematiksel açıdan gösterimleri şunlardır (Baykal ve Beyan, 2004):

$$\text{Çekirdek} \Rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) = 1 \quad (3.8)$$

$$\text{Sınırlar} \Rightarrow 0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1 \quad (3.9)$$

$$\text{Destek} \Rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) > 1 \quad (3.10)$$

Şekil 3.8, sınır, destek ve çekirdek kısımlarını göstermektedir.



Şekil 3.8. Sınır, destek ve çekirdek kısımlarının grafikteki gösterimleri (Şen, 2001).

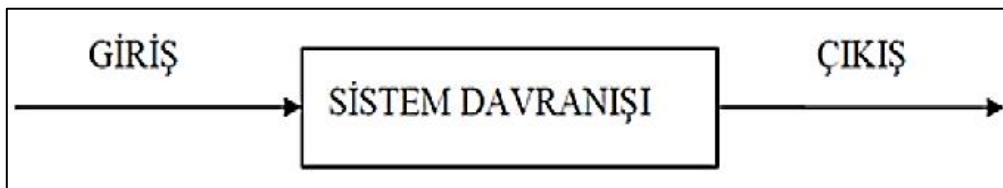
#### Bulanık mantık tabanlı sistemler

Bugün hem bilgiler hem de bilgilerle beraber gelen dilsel (sözel) veri ve datalar önemsenmektedir. Bunun en temel sebebi, bireylerin makineleşmiş bir unsur gibi matematiksel bilgilerle değil de yaklaşık ve sözel ifadeler ile diyalog kurarak anlaşmasıdır. Sözü edilen dilsel birey verileri bir sistemde formülize edilerek, makineler tarafından

verilen sayısal bilgilerle ele alınırken mühendislik sistemlerine de dikkat edilmesi gerekir (Işıklı, 2008).

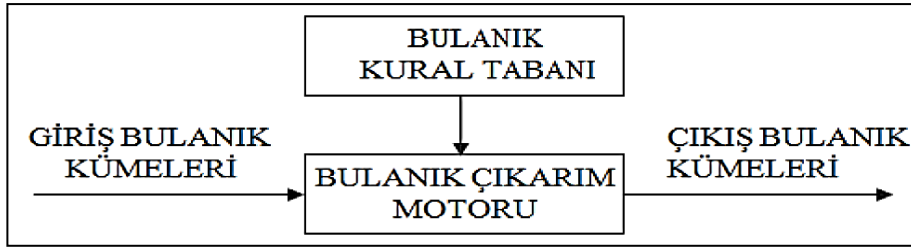
Bulanık mantık temelli sistemler, bulanık mantıktan yararlanıldığı öncelikli alanların başındadır. Mamdani, bu sistemleri 1974'te ilk kez kullanmıştır. 1985'te, Takagi ve Sugeno tarafından yeni bir bulanık mantık denetleme modeli geliştirilmiştir (Kahveci, Okumuş ve Ekici, 2013).

Sistemlerin çıkış ve giriş olarak iki değişkeni bulunmaktadır. Verilen girişlerle uygun çıktıların elde edilebilmesi amacıyla çeşitli türde modellerde yararlanılır. Gereksinimlerin değişmesi ile konvansiyonel temelli sistemler yerine bulanık mantık temelli modellerden çok sık yararlanılmaya başlanmıştır (Türkyılmaz, 2012). Bilindik tekniklerle denetlendiği zaman verimli sonuç elde edilemeyen veya matematiksel olarak modelleme yapılamayan sistemler için çoğunlukla kullanılmaktadır. Zadeh, sistemin kompleksliği arttıkça sistem davranışını matematiksel modelleri geleneksel yaklaşımlarla ortaya koymanın gittikçe zorlaştığını ifade etmiştir. Hızla gelişen teknoloji ve gereksinimlere cevap verebilecek matematiksel sistemler bulmak günden güne daha da güçleşmektedir. Günümüze kadar matematiksel, kavramsal ya da rastlantısal sistemlerin birçoğu Şekil 3.9'da görüldüğü gibi üç tane farklı birimden oluşmaktadır. Sistemdeki bu birimler; giriş, çıkış ve sistem davranışdır. Bahsedilen birimlerin tamamında sayısal veriler işlenmektedir (İşbilen, 2005).



Şekil 3.9. Klasik sistem (Onur, 2015).

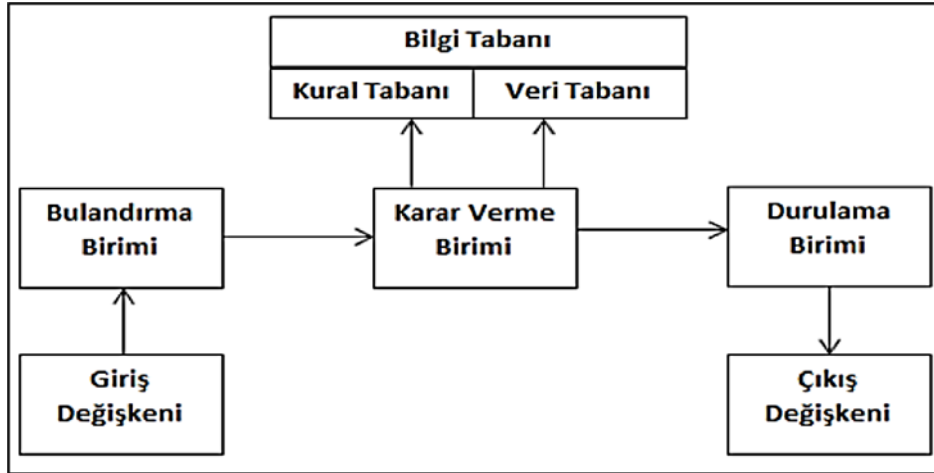
Klasik sistemlerde sistem davranış birimi tek bölümden meydana gelirken bulanık sistemlerde sistem davranış birimi Şekil 3.9'da ifade edildiği gibi iki birime ayrılmıştır (Onur, 2015). Kendi aralarında ilişkili dört birimden oluşan bulanık sistemin genel yapısı Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Bu sistemde dikkati çeken bir diğer konu veri tabanındaki çıkış ve giriş değerlerinin bulanık olmasıdır. Özetle bulanık sistemdeki tüm birimler bulanık değerlerden oluşmaktadır (Şen, 2001).



Şekil 3.10. Bulanık sistem genel tasarımı (Onur, 2015).

Giriş bulanık küme bölümü, analiz edilecek duruma etki eden giriş değişkenlerini ve giriş değişkenler ile ilgili bütün verileri içermektedir. Buna “giriş birimi ya da veri tabanı” adı verilmektedir (Şentürk, 2006). Bulanık kural tabanı bölümü, alanında profesyonel bireylerin sistemi kontrol etmek için giriş parametrelerini çıkışlar ile ilişkilendiren mantıksal ifadeler olan “Eğer- o halde” biçiminde belirtilen tüm bulanık kurallarını kapsamaktadır (Elmas, 2011; Gülbağ, 2006). Mantıksal kural ifadeleri meydana getirilirken çıkış ve girişler arasında gerçekleşebilecek bütün olasılıklar dikkate alınır. Meydana getirilen kurallar sayesinde tüm giriş birimleri çıkış birimlerine mantıksal olarak bağlanarak bulanık sistemin kural tabanı meydana getirilir. Çıkış ve giriş bulanık kümeler arasındaki bağlantıları toplayarak sistemin tek çıkış üretmesini temin eden işlemlerin tümünü bulanık çıkarım motoru bölümü kapsamaktadır. Bu bölümün en esas fonksiyonu kural çıkarımların tümünü bir arada toplayarak tüm sistemin giriş birimlerinin nasıl bir çıkış vereceğinin tespit edilmesidir. Çıkış bulanık küme bölümü, bulanık ve bilgi kural tabanlarının bulanık çıkarsama motoru birimi ile etkileşime geçmesiyle gerçekleşecek çıkış değerini saptar (Onur, 2015).

Sayısal verilerden oluşan bir veri tabanının bulanık sisteme girememesi ve çıkış değerlerinin sayısal değerler olmaması genel bulanık sisteminin en ciddi noksanlığıdır. Bunlardan dolayı genel bulanık sisteminden, mühendislik sistem tasarımlarında doğrudan yararlanılamamaktadır. Bu eksikliklerin giderilebilmesi için Şekil 3.11’de gösterilen giriş değişkenleri için bulandırma biriminden faydalanılırken çıkış değişkenleri için durulama birimi olan bulanık sistemler kullanılmaktadır (Şen, 2009).



Şekil 3.11. Bulanık mantık sisteminin temel yapısı (Elmas, 2010).

Bilhassa mühendislik sistem tasarımıındaki boyutlandırmalar için keskin olan sayısal değerlere ihtiyaç gösterilmektedir. Bu tür durumlarda bulanık şekilde elde edilen veya bulanık olarak verilen verileri kullanarak gereksinim gösterilen yanıtların alınabilmesi adına bulanık verilerin durulama birimi ile etkileşime geçmesi gerekir. Bulanık verilerin keskin neticelere dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne “durulaştırma” denilmektedir (Çelik, 2012).

### 3.2.2. Regresyon analizi kavramı

Bu bölümde regresyon analiz kavramı ile ilgili bilgiler verilecektir.

#### Regresyon analizi

Regresyon analizine ilişkin ilk araştırmalar; 19. Yüzyılın sonlarında Francis Galton tarafından yapılmıştır. Galton çalışmasında; çocuklarının boyları ile anne-babaların boyları arasındaki ilişkiyi incelemiş ve kısa boylu çocukların anne-babalarının boylarının da kısa, uzun boylu çocukların anne-babalarının boylarının da uzun olmasına karşın, çocukların boylarının ana kitle boy ortalamasına ilişkin yaklaşma eğiliminde olduğunu ortaya çıkarmıştır. Galton’un çalışmaları günümüzde değişkenler arasındaki istatistiki ilişkileri inceleyen Regresyon Analizi’nin başlangıcı olmuştur (Yüzük, 2019).

Değişkenler arasında ilişkinin mevcut olup olmadığı, var olması durumunda bu ilişki derecesinin tespit edilmesi istatistiksel analizlerde çok sık karşılaşılan bir sorundur. İstatistiksel açıdan iki değişken arasındaki bu ilişki, değişken değerlerinin karşılıklı değişiminin bağıllığı biçiminde tarif edilmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkinin analizinde çok sık yararlanılan teknik regresyon analizidir (Karaca ve Karacan, 2016).

Regresyon yönteminin amaçları arasında biri bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi bulunmaktadır. Bu amaçla öncelikle parametrelerin tahmin edilmesi gerekir. Modelin parametreleri belirlendiği zaman bağımsız değişkenlere ilişkin her farklı değer için bağımlı değişkenin alacağı değerin tahmin edilmesi regresyonun başka bir amacıdır. Eğer bağımsız değişkenlerin her farklı değerinde bağımlı değişken sabit oluyorsa araştırmaya çalışılacak bir sorun yoktur denilmektedir.

### Lineer regresyon analizi

Çoğu istatistiksel çalışmalarda olduğu gibi regresyon analizinde de verilerin tümü yerine bu verilerden seçilen örnekler ile analiz yapılmaktadır. Anakitle verilerinin sayısı çok fazla olduğu için, araştırma ve zaman masraflarını dikkate alarak tüm anakitle verileri yerine, bu anakitleden random şekilde belirli sayıda seçilen verilerle istatistiksel analizler yerine getirilmektedir. Örnek verilerle saptanan sonuçlar anakitledeki ilişkinin tahmini için yararlanılmaktadır. Anakitle ya da örnek verilerle yapılan istatistikî uygulama teknikleri aynı olup ancak istatistik tekniklerinin uygulanmasından sonra örnekleme teorisinden yararlanılarak anakitleye ilişkin parametrelerin tahmin ve testleri yapılmaktadır. Regresyon analizinde de uygulama aynı olup anakitleyle ilgili veriler büyük harf ile, örnek veriler ise küçük harf ile gösterilir.

Doğrusal regresyon yönteminin en doğru neticeyi vermesi adına birtakım varsayımları sağlaması gerekir. Varsayımlardan herhangi birinin gerçekleşmemesi durumunda doğru neticeler elde edilemez (Berry, 1993).

### Basit lineer regresyon

Regresyon analizinde, değişkenler bağımsız ve bağımlı değişken (ler) şeklinde iki gruba ayrılmaktadır. Bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni açıklamaya çalışılan değişkenlerdir. Denklem 3.11’de gösterildiği gibi bağımlı değişken  $y$  ile bağımsız değişkenler  $x$  ile gösterilir. Hata terimi  $\varepsilon$ , modele dâhil edilemeyen değişkenleri içermektedir. Modelde yer alan parametreler  $\beta_0$ , doğrusal fonksiyon sabit parametresidir.  $X$  sıfır olduğu zaman regresyon doğrusunun dikey eksen olan  $y$  ile kesiştiği noktayı göstermektedir.  $\beta_1$  ise doğrusal fonksiyonun eğimi olup  $\beta_1$  parametresi regresyon analizinde bağımsız değişken olan  $x$ ’deki bir birimlik değişimin bağımlı değişken  $y$ ’de ne kadarlık bir değişim meydana getirdiğini gösteren regresyon katsayısıdır (Karaca ve Karacan, 2016).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3.11)$$

Basit Doğrusal Regresyon Analizi,  $Y$  bağımlı değişkeninin tek bağımsız (açıklayıcı) değişken  $X$  ile arasındaki ilişkinin doğrusal bir fonksiyonla ifade edilmesi şeklinde tarif edilmektedir. Basit doğrusal regresyon modeli,  $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$  olarak gösterilmektedir.  $\beta_0$  doğrusal fonksiyonun sabit terimidir ve  $X = 0$  olduğunda regresyon doğrusundaki dikey eksen ile kesiştiği noktayı göstermektedir.  $\beta_1$  ise bu fonksiyona ait eğimi nitelemektedir ve aynı zamanda regresyon analizinde bağımsız değişken  $X$ ’de meydana gelen bir birimlik değişimin bağımlı değişkende ne kadarlık bir değişime neden olduğunu gösteren regresyon katsayısıdır.  $\varepsilon$  hata terimini ifade etmektedir (Karaca ve Karacan, 2016).

Modelde bulunan hata terimini; gerçek  $Y$  değerleri ile tahmini  $Y$  değerlerinin farkını minimuma indirmek ve gerçek yaşamda olması gereken katsayılara en yakın sonuçları bulabilmek amacıyla “En Küçük Kareler (EKK) Yöntemi” kullanılmaktadır. EKK yöntemi; bir regresyon yöntemi olarak, Legendre ve Gauss tarafından açıklanmış olup gerçek değerlerle tahmin edilmiş değerler arasındaki hataların karelerini en aza indirmektedir.

En küçük kareler yöntemi: Regresyon analizinde gözlem noktalarını temsil eden en iyi eğriyi bulma işleminde en fazla yararlanılan yöntem En Küçük Kareler (EKK) yöntemidir. EKK yöntemi, meydana gelecek hataların kareleri toplamı minimum olacak biçimde bir

eğri denklemi bulma mantığına dayanmaktadır. Bu yaklaşımla bulunacak bir denklem en az hatalı ve en gerçekçi değeri verecek bir eğri denklemi olacaktır. EKK yönteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için birçok varsayım gerekmektedir. Bu varsayımların en önemlisi verilen noktalardaki ölçüm hatalarının normal dağılım göstermesidir (Koutsoyiannis, 1989).

Parametrelerin tahmini:  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  'i tahmin etmek için kullanılan EKK yönteminde,  $Y = \beta_0 + \beta_1 X + u_i$  denklemindeki  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  öyle tahmin edilmelidir ki hata kareler toplamı  $\sum_{i=1}^n u_i^2$  en küçük olsun. Bu yüzden önce denklemden  $u$  çekilir,

$$u_i = Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_i \quad (3.12)$$

Eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin her iki tarafının karesi alınıp toplanırsa,

$$\sum_{i=1}^n u_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_i)^2 = \text{Min.} \quad (3.13)$$

Elde edilir.  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametrelerinin gerçek değerleri bilinmediğinden  $u_i$  nin gerçek değeri bilinmez. Regresyon modelinde  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  parametrelerinin yerine onların tahmin değerleri yazılarak ve hata terimi içinde tahmin değeri yazılarak, eşitliğin sağ tarafındaki  $\beta_0$  ve  $\beta_1$  için, ayrı ayrı kısmi türeci alınarak sıfıra eşitlenip çözülürse;

- $\beta_0$  parametresini bulmak için  $\sum_{i=1}^n u_i^2$  ifadesinin  $\beta_0$  parametresine göre türevi alınıp 0'a eşitlenir.

$$\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\partial \hat{\beta}_0} = 2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_i)(-1) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n \hat{\beta}_0 - \sum_{i=1}^n \hat{\beta}_1 X_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i - n\hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i = n\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i$$

(3.14)

- $\beta_1$  parametresini bulmak için  $\sum_{i=1}^n u_i^2$  ifadesinin  $\beta_1$  parametresine göre türevi alınıp 0'a eşitlenir.

$$\frac{\sum_{i=1}^n u_i^2}{\partial \hat{\beta}_1} = 2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 X_i)(-X_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y - \sum_{i=1}^n X_i \hat{\beta}_0 - \sum_{i=1}^n X_i \hat{\beta}_1 X_i = 0 \quad (3.15)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y - \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n X_i - \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 = 0$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y = \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n X_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i^2$$

Böylelikle;

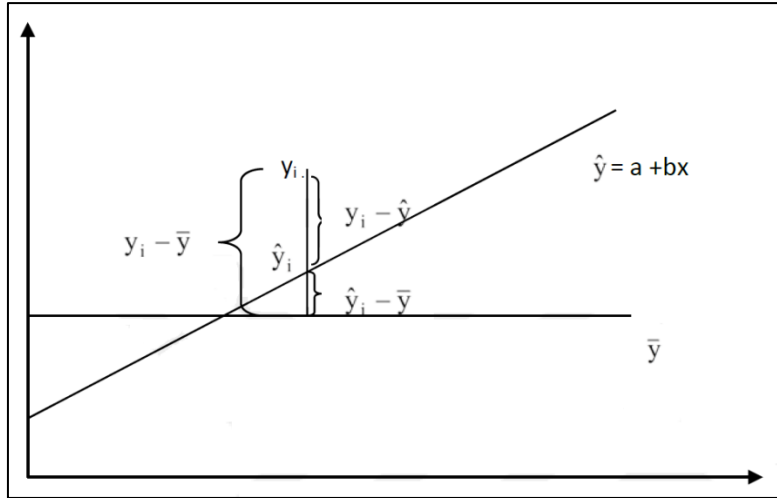
$$\sum_{i=1}^n Y_i = n \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.16)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i Y = \hat{\beta}_0 \sum_{i=1}^n X_i + \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_i^2 \quad (3.17)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemlere “Normal Denklemler” denir. Bunların çözümü ile parametreler tahmin edilir. Denklemlerden türetilen farklı formüller parametre tahmininde kullanılabilir (Gujirati, 2004).

EKK Regresyonu aşırı değerlerin etkisinde kalabilir. Hatalar normal dağılıyor ise değişkenler arasında ilişkiyi optimum biçimde açıklar fakat hataların normal dağılmadığı durumlarda EKK test ve tahminleri iyi netice vermezler (Tarı, 2015).

Kareler toplamı ile katsayı tahmini:



Şekil 3.12. Regresyon analizinde sapmalar (Yıldız ve Bircan, 2008).

Regresyon Analizinde, Şekil 3.12’de olduğu gibi varyasyon iki kısma ayrılır.

$$(y_i - \bar{y}) = (y_i - \hat{y}_i) + (\hat{y}_i - \bar{y})$$

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = \sum [(y_i - \hat{y}_i) + (\hat{y}_i - \bar{y})]^2$$

$$\underbrace{\sum (y_i - \bar{y})^2}_{\text{GKT}} = \underbrace{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}_{\text{HKT}} + \underbrace{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}_{\text{RKT}} + 2 \underbrace{\sum (y_i - \hat{y}_i)(\hat{y}_i - \bar{y})}_{\mathbf{0}} \quad (3.18)$$

GKT: Genel Kareler Toplamı

HKT: Hata Kareler Toplamı

RKT: Regresyon Kareler Toplamını ifade etmektedir.

Çizelge 1.4. Varyans analiz tablosu (Yıldız ve Bircan, 2008)

| VARYANS ANALİZİ TABLOSU |                     |                                        |                    |                   |
|-------------------------|---------------------|----------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Varyasyon Kaynakları    | Serbestlik Derecesi | Kareler Toplamı                        | Kareler Ortalaması | F hesap değeri    |
| Regresyon               | 1                   | $b\sum (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})$ | KT/SD              | $\frac{RKO}{HKO}$ |
| Hata                    | n-2                 | $\sum (y_i - \hat{y}_i)^2$             |                    |                   |
| Genel                   | n-1                 | $\sum (y_i - \bar{y})^2$               |                    |                   |

Determinasyon katsayısı: Bağımlı değişkendeki değişimlerin bağımsız değişken veya değişkenler tarafından açıklanma oranını belirten katsayıya “Determinasyon Katsayısı ( $R^2$ )” adı verilmektedir. Basit regresyonda tek bağımsız değişken olduğundan, bağımlı değişkendeki değişimler sadece bu değişken tarafından açıklanmaktadır.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} = \frac{RKT}{GKT} \quad (3.19)$$

bu katsayı denklemde gösterildiği gibi elde edilir.  $0 \leq R^2 \leq 1$  aralığında değer alır.  $R^2$ 'nin 1'e yaklaşması bağımlı değişkendeki değişimlerin bağımsız değişken tarafından iyi açıklandığını ortaya koyacaktır (Gujirati, 2004).

#### Çoklu lineer regresyon

Basit regresyon analizinde bağımlı değişken Y ile gösterilirken, bağımsız değişken X ile gösterilmektedir. Çoklu regresyon analizinde ise bağımlı değişken Y ile bağımsız değişkenlerde  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$  ile gösterilmektedir. Buna bağlı olarak denklem 3.20'de gösterilmektedir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_1 \quad (3.20)$$

Çoklu doğrusal regresyonda; bağımsız (açıklayıcı) değişkenleri dahil ederken, korelasyon katsayısı (R) ve belirlilik katsayısı ( $R^2$ )'na bakılır ve ayrı ayrı veya topluca anlamlılık testi (F Testi) yapılır. İlk olarak değişkenlerin birbiriyle ilişkili olup olmadığına ve yönüne R değerlerine bakılarak karar verilir. R değeri pozitif veya negatif yönde 1'e ne kadar yakınsa aradaki ilişki o kadar kuvvetlidir denir. Sonrasında değişkenler bağımlı ve bağımsız değişkenlere ayrılır,  $R^2$  değerlerine göre bağımlı değişkendeki değişimin ne kadarının bağımsız değişkenlerce açıklanabileceği açıkça görülür ve regresyon analizi gerçekleştirilir (Koutsoyiannis 1989).

Parametrelerin tahmini: Çoklu doğrusal regresyon modelinin parametreleri basit doğrusal regresyon modelinin parametreleri gibi aynı yöntemlerle tahmin edilebilir. Anakitle çoklu doğrusal regresyon modeli, Denklem 3.21 gibi gösterilir.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_1 \quad (3.21)$$

En Küçük Kareler Yönteminde  $Y_i$  ile  $E(Y_i)$  arasındaki farkların kareleri toplamı minimize edileceğinden yapılan işlemler neticesinde,

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n Y_i &= n\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n X_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n X_{ik} \\ \sum_{i=1}^n X_{i2} Y_i &= \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_{i2} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n X_{i2}^2 + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n X_{i2} X_{ik} \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ \sum_{i=1}^n X_{ik} Y_i &= \hat{\beta}_1 \sum_{i=1}^n X_{ik} + \hat{\beta}_2 \sum_{i=1}^n X_{ik} X_{i2} + \dots + \hat{\beta}_k \sum_{i=1}^n X_{ik}^2 \end{aligned} \quad (3.22)$$



Burada

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} \quad \text{nx1 boyutlu bağımlı değişken gözlemleri vektörü,} \quad (3.26)$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \cdots & X_{k1} \\ 1 & X_{12} & X_{22} & \cdots & X_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{1n} & X_{2n} & \cdots & X_{kn} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{n x k boyutlu açıklayıcı değişken} \\ \text{verileri matrisi,} \end{array} \quad (3.27)$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \text{k x 1 boyutlu katsayılar vektörü} \quad (3.28)$$

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} \quad \text{n x 1 boyutlu hata terimleri vektörüdür.} \quad (3.29)$$

Çoklu Regresyon analizinde, genel doğrusal model;

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \cdots + \beta_k x_{ik} + u_i, \quad i=1 \quad \text{veya}$$

$Y = X\beta + u$  olarak ifade edilmektedir.

En Küçük Kareler yöntemi  $\hat{u}'\hat{u} = [\hat{u}_1 \quad \hat{u}_2 \quad \cdots \quad \hat{u}_n] \begin{bmatrix} \hat{u}_1 \\ \hat{u}_2 \\ \vdots \\ \hat{u}_n \end{bmatrix} = \hat{u}_1^2 + \hat{u}_2^2 + \cdots + \hat{u}_n^2 = \sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2$  yi minimize eder.

$$Y = X\beta + u \text{ ilişkisinden } \hat{u} = Y - X\hat{\beta}, \hat{u}' = (Y - X\hat{\beta})' \text{ ve böylece}$$

$$\hat{u}'\hat{u} = (Y - X\hat{\beta})'(Y - X\hat{\beta}) = Y'Y - 2\hat{\beta}'X'Y + \hat{\beta}'X'X\hat{\beta} \quad \text{bulunur.}$$

Minimizasyon için bu fonksiyonun  $\hat{\beta}$  ya göre türevi sıfıra eşitlenmelidir:

$$\frac{\partial \hat{u}'\hat{u}}{\partial \hat{\beta}} = -2X'y + 2X'X\hat{\beta} = 0 \quad (3.30)$$

ve bunun sonucu,

$$X'X\hat{\beta} = X'Y \quad (3.31)$$

Denklem 3.31 bulunur ve bu eşitlik en küçük kareler normal denklemidir.

### 3.2.3. Destek vektör makineleri

Destek Vektör Makineleri kullanım açısından farklı özellikler göstererek öğrenmeye yeni bir model katmıştır. Bu makineler sayesinde artık yapılan işlemlerdeki örnekler birbirinden rahat bir şekilde ayrılabilir. Destek Vektör Makineleri sayesinde güvenilir bir sistem geliştirilerek makinelerin kullanım alanı artırılmıştır. Böylece kullanım alanlarında karşılaşılan problemler kısa sürede çözülmektedir.

Destek Vektör Makineleri (DVM) yüksek boyutlu ve küçük sayıda eğitim verisinden öğrenebilen yeni nesil bir öğrenme metodu olarak Vladimir Vapnik tarafından 1995 yılında tanıtılmıştır. DVM, genelleştirebilme yeteneğinin yüksek olması, teorik yapısının kuvvetli ve uygulamalarda yüksek performans göstermesi bakımından son zamanlarda örüntü tanımlamada, bağlanım analizinde, yüz tanımlamada, resim ve metin sınıflandırmada, veri madenciliğinde, kalite kontrol yöntemlerinde, finans, ekonomi, genetik, biyoloji gibi alanlarda sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır (Arata, 2014).

Destek Vektör Makineleri üniversite, kamu kurumları, özel yerler gibi alanlarda kullanılmaktadır. Bu yüzden her türlü sektör güvenilir bir sistem geliştirerek çalışmalarını sorunsuz bir şekilde yürütmek isterler. Bunun için Destek Vektör Makineleri geliştirilerek sınıflama, analiz etme gibi ihtiyaçlar karşılanmaktadır. Ayrıca bu makineler sayesinde artık geleneksel yöntemlerle kullanılan makineler yerini farklı makinelere bırakmıştır. Böylece karşılaşılan problemlerden ve eksikliklerden yeni makineler sayesinde kurtulmaya başlanmıştır.

Her sektörde yaşanan sorunlar nedeniyle farklı yenilikler getirilmeye çalışılmıştır. Getirilen yenilikler sayesinde yaşanan problemler ortadan kalkmaya başlamıştır. Destek Vektör Makineleri de yaşanan problemler sonucu geliştirilmiştir. Günümüzde de sektör alanının genişlemesiyle birlikte Destek Vektör Makineleri performans açısından diğer makinelere göre aktif bir şekilde hizmet sunmaktadır.

Geçmişten günümüze kadar gelindiğinden hayatın her alanında insanların ihtiyacı değişmiştir. Bu yüzden insanlar ihtiyaçlarını daha rahat ve hızlı bir şekilde karşılayabilmek için yeni icatlar yapmış ve farklı teoriler öne sürmüştür. Özellikle son yıllarda makine kullanımının artmasıyla birlikte artık insanlar geleneksel ve zahmetli yöntemler kurtulmaya başlamıştır. Hemen hemen her alanda kullanılmaya başlayan makineler arasında Destek Vektör Makineleri üretilerek insanların işi daha kolay hale gelmeye başlamıştır.

Destek Vektör Makineleri, Vladimir Vapnik ve Alexey Chervonenkis tarafından geliştirilmiş olan istatistiksel öğrenme teorisinden türetilmiş öğrenme metodudur. Sınır ağları, bulanık modeller gibi metotlarla karşılaştırıldığında, DVM yüksek genelleme başarımı, en iyileme kapasitesi gibi özelliklere sahiptir. Genel olarak sınıflandırma ve regresyon işlemlerinde kullanılır (Çomak, 2008).

DVM olarak kısaltılan Destek Vektör Makineleri, kullanım amacı bakımından diğer makinelere oranla daha üst düzey performans göstermektedir. Sınıflandırma gibi işlemlerde rahatlıkla kullanılan DVM sayesinde artık her türlü alanda bu makineler başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Özellikle günümüzde veri madenciliği, gıda sektörü, mühendislikte karşılaşılan problemlerde ve daha birçok alanda bu makineler sorunsuz bir şekilde kullanılmaktadır.

Destek Vektör Makineleri, eksikliğin tamamlanması ve uyumun sağlanması amacıyla Vapnik ve Chervonenkis tarafından ortaya atılmıştır. VC teorisinde yapısal risk minimizasyonu prensibi tanımlanmıştır. YRM olarak adlandırılan yapısal risk minimizasyonu ortaya atılan bu prensip sayesinde sınıflandırma gibi işlemler Destek Vektör Makineleri yardımıyla gerçekleştirilmektedir.

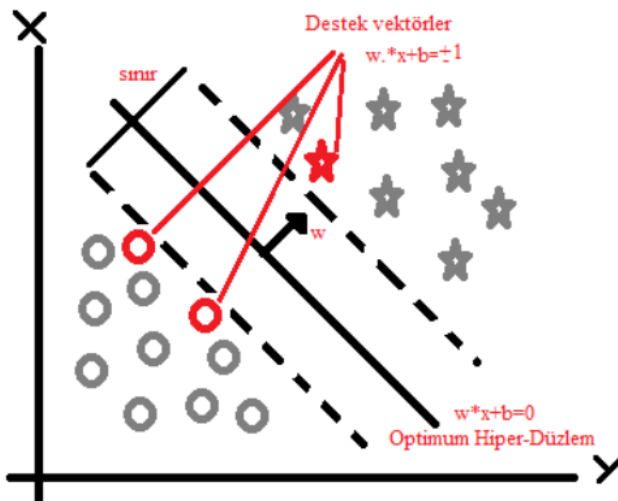
YRM tümevarımsal prensibi ve VC teorisi istatistiksel öğrenme teorisinde önemli bir yere sahiptir. YRM, küçük örneklem kümelerinden öğrenme ile ilgili uygulamalarda yararlı olan yeni bir tümevarımsal prensiptir. Olasılıkla tek düzenli yakınsama, öğrenme makineleri için beklenen risk ile deneysel risk arasındaki sapma değerine sınır getirir.

YRM prensibi ve VC teorisindeki temel fikir; çok sayıda aday model arasından beklenen risk veya genelleme hatasını minimum yapacak doğru oranda karmaşıklığa sahip modelin seçilmesidir (Çomak, 2008).

Modeller arasında oluşan hataları en aza indirmek amacıyla geliştirilen YRM sayesinde artık yaşanan karmaşıklık ortadan kalkarak genelleme hataları en aza indirilmektedir. Bu sayede doğru model seçimi yapılarak istenilen işlemler hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Verilerin sınıflara ayrılmasına yardımcı olan DVM, yapısal risk minimizasyonu yanında kendi içerisinde 3 başlığa ayrılmaktadır. Bu başlıklar: doğrusal ayrılma, tam olarak doğrusal ayrılama ve doğrusal ayrılama şeklindedir.

### Doğrusal Ayrılma

Destek Vektör Makineleri her ne kadar birçok alanda sorunsuz bir şekilde çalışma performansı gösterse de makinelerin amaçları farklıdır. Bu makinelerin amacı verileri 2 sınıfa ayırmaktır. Böylece yumuşak ve sert ayırma işleminin doğrusal olarak yapılması sayesinde sınır değeri maksimumu düzeye ulaşmış olur.



Şekil 3.13. Doğrusal olarak ayırma (Ateş, 2014)

Ayrırma işleminin püf noktası sınır değerini maksimum yapmak ve bu sayede en iyi ayrıma sahip olmaktır. Veri setini sınıflara ayırabilecek sonsuz sayıda çoklu düzlem çizilebilmesine karşın, amaç bilinmeyen veri seti ile karşılaşıldığında sınıflama hatasını en küçük yapacak aşırı düzlemi seçmektir. Bunun için maksimum sınırlı aşırı düzlem tekniği önerilmiştir. Sınır değerinin büyüklüğü genelleme kabiliyetini artırır (Ateş, 2014).

En iyi ayrımın elde edilmesi için kullanılan grafiklerde yapılan ayrımlarda sınır değeri maksimum yapılmaktadır. Bu ayrımın yapılması ve sınıflama hatasının en aza indirilmesi için uygun düzlem seçilir. Bu düzlemin seçilmesi için de düzlem tekniği kullanılmaktadır. Sınır değerinin belirlenmesi için denklem kullanılmaktadır. Kullanılan denklemler şöyledir:

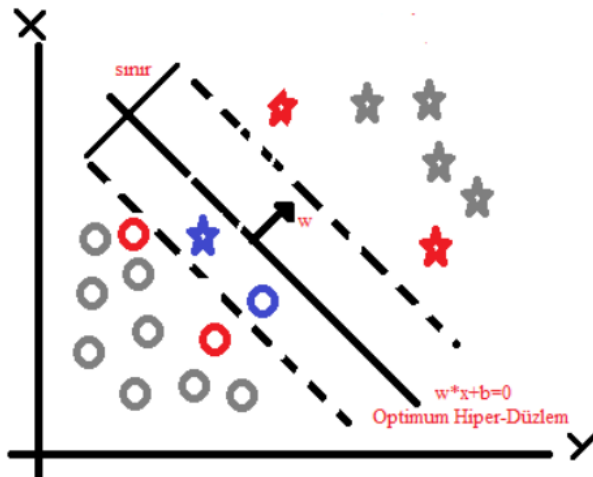
$$w^{\rightarrow T} x_1 + b = +1 \quad (3.32)$$

$$w^{\rightarrow T} x_3 + b = -1 \quad (3.33)$$

Denklem 3.33'ü -1 ile çarpılıp denklem 3.32 ile toplanıp  $x_1 = x_3 + \lambda \cdot w$  ifadesi eşitlikte yerine yazılırsa, bunun sonucunda  $\lambda = 2 / w^{\rightarrow 2}$  ifadesi bulunur (Ateş, 2014).

Görüldüğü üzere kullanılan değerler sonucunda sınır değeri belirlenerek maksimum düzeye ulaşılır. Böylece sınır değerinin büyüklüğü genelleme kabiliyetini artırarak en iyi performansın elde edilmesini sağlar.

#### Tam Olarak Doğrusal Ayrılama



Şekil 3.14. Tam Olarak Doğrusal Ayrılama (Ateş,2014)

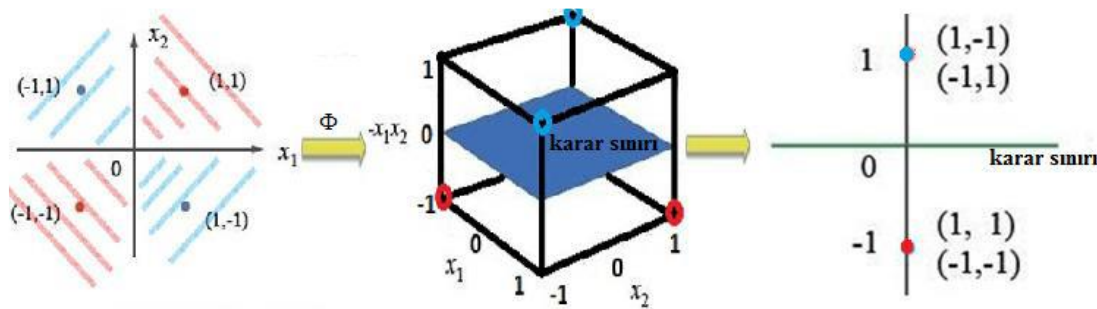
Veriler bazı durumlarda %100 performansla ayrılamayabilir. Verilerin sınır içerisine düştüğü (mavi renkli çember) durum ayrılamama ve sert ayrılma çizgisinin karşı tarafına düştüğü (mavi renkli yıldız) durumda yanlış ayrılma olarak adlandırılır. Bu durumlarda, doğruların minimum hata ile ayırma sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir (Ateş, 2014).

Doğrusal ayrılamama başlığının yanında verilerde istenilen performansın elde edilememesi üzerine verilen ayrılmayabiliyor. Bunun sonucunda ayrılamama ve yanlış ayrılma gibi durumlar ortaya çıkmaktadır. Yaşanılan sorunların en aza indirilmesi için kullanılacak denklemin kısır değeri şöyledir:

$$Y_i (w^t x_i + b) \geq 1 - \hat{S}_i, \hat{S}_i \geq 0, \forall_i \quad (3.34)$$

Buradaki  $\hat{S}_i$  gevşek değişken olarak isimlendirilir.  $\hat{S}_i$  gevşek değişkeni bir  $x_i$  örneğinin sınırdan olan sapma uzaklığıdır. Ayrılamazlık durumunda  $\hat{S}_i$ ,  $0 \leq \hat{S}_i < 1$  ve yanlış sınıflandırma durumunda,  $\hat{S}_i$ ,  $\hat{S}_i \geq 1$  olur. Doğrusal ayrılamama durumunda aynı doğrusal ayrılmada olduğu gibi maksimum sınır bulunmaya çalışılır (Ateş,2014).

### Doğrusal Ayrılamama (Çekirdek Fonksiyonlar)



Şekil 3.15. Doğrusal ayrılamama

Gerçek dünyada veriler çoğunlukla doğrusal olarak ayrılamazlar, böyle durumlarda destek vektör makinesi şeklindeki gibi girdi uzayını  $\Theta$  fonksiyonu ile daha yüksek boyutlu bir uzaya taşıyarak burada doğrusal ayırma işlemlerini uygular (Ateş, 2014).

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, Keban Baraj gölünün günlük su seviyesini tahmin etmek için Bulanık Mantık (BM), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) yöntemleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Çalışmada kullanılan modellerin karşılaştırılmasında kullanılan istatistiksel parametreler hakkında bilgi verilecek olup, diğer kısımlarda modellere ait sonuçların grafiksel gösterimi, yorumlanması yapılmıştır.

### 4.1. Model Analizinde Kullanılan Parametreler

İki yıllık veriler dikkate alınarak Çoklu Lineer Regresyon analizi (ÇLR) ve Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Bulanık Mantık (BM) için modeller oluşturulmuştur. Tüm modellerde toplam 731 verinin 511 verisi eğitim için 220 verisi de test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Her bir model için ortalama karesel hataların karekökü (KOKH), ortalama mutlak hata (MOH) ve determinasyon katsayıları ( $R^2$ ) belirlenerek karşılaştırılmıştır. KOKH, MOH ve  $R^2$  değerlerine göre model performansları değerlendirilmiştir. KOKH ve MOH aşağıdaki gibi denklemlerle belirlenmiştir.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N (GSS_{gözlenen} - GSS_{tahmin})^2} \quad (4.1)$$

ve

$$MOH = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N |GSS_{gözlenen} - GSS_{tahmin}| \quad (4.2)$$

Burada N veri sayılarını ve  $GSS_i$  baraj hazne göl seviyesi verilerini göstermektedir. Sunulan çalışmada Keban barajının enerji gayesi, günlük toplam su sarfiyatı, toplam buharlaşma miktarı kullanılarak ve geçmiş ölçümlerden elde edilen bir zaman ötelenmiş hazne seviyesi (t+1) kullanılarak, günlük hazne seviyesi tahmin edilmiştir. ÇLR modelinin oluşturulmasında kullanılan girdi veri seti, BM ve DVM modelin eğitim ve test aşamasında uygulanmıştır.

ÇLR, BM ve DVM modellerinin performans değerlendirmesi için determinasyon katsayısı ( $R^2$ ), karesel hataların karekökü (KOKH), ortalama mutlak hata (MOH) Keban Baraj verilerine uygulanmıştır. Her bir model için, ortalama karesel hataların karekökü (KOKH), ortalama mutlak hata (MOH) hesaplanmıştır. Sonuçlar, model tahmininin performansı ve gözlem verilerinin karşılaştırılması için kullanılmıştır. Test verilerinden elde edilen KOHK, MOH ve  $R^2$  parametrelerinin karşılaştırılması Çizelge 1'de gösterilmektedir. Çizelge 1 incelendiğinde tüm modellerin, düşük KOHK ve MOH hata oranları ve yüksek determinasyon katsayısıyla baraj gölü seviye tahmininde başarılı olduğu görülmektedir.

Çizelge 1. ÇLR, BM ve DVM modellerinin performans karşılaştırılması

| Model    | Model              | KOKH | MOH  | $R^2$ |
|----------|--------------------|------|------|-------|
| İsimleri | Girdileri          | (m)  | (m)  |       |
| ÇLR      | EGSS,              | 0.53 | 0.58 | 0.98  |
| DVM      | TSS,               | 0.03 | 0.03 | 0.99  |
|          | TB,                |      |      |       |
| BM       | GSS <sub>t+1</sub> | 0.02 | 0.01 | 0.99  |

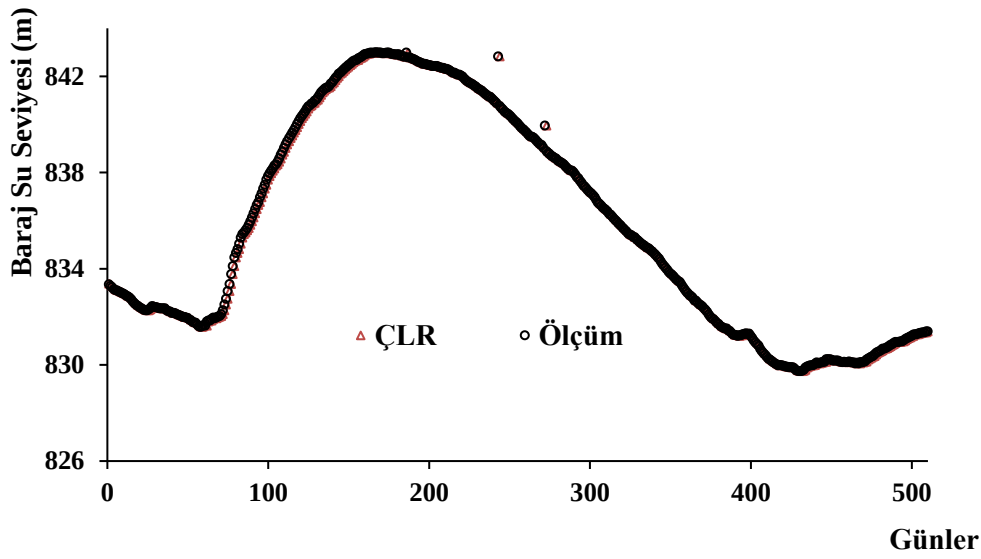
Burada Göl su seviyesi (GSS<sub>t</sub>) tahmin analizleri için, “EGSS” günlük enerji gayesi için su sarfiyatını, “TSS” günlük toplam su sarfiyatını, “TB” günlük toplam buharlaşmayı ve “GSS<sub>t+1</sub>” günlük ötelenmiş göl su seviyesini ifade etmektedir.

## 4.2. Model Sonuçları

Çalışmada, BM, DVM ve Çoklu Lineer Regresyon yöntemleri sonuçları incelenmiştir. Bu modellere ait sonuç aşağıda verilmiştir.

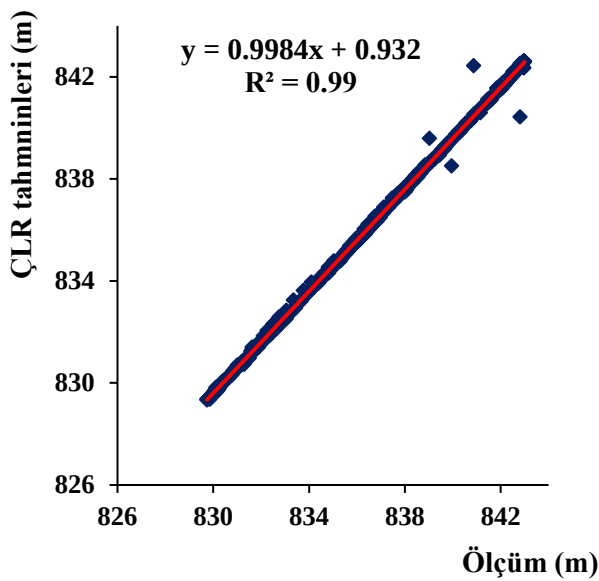
### 4.2.1. Çoklu lineer regresyon (ÇLR) sonuçları

Çoklu lineer regresyon (ÇLR) analizi için, Şekil 4.1 ve 4.2 de baraj hazne seviyesi eğitim verileri için sırasıyla dağılım ve saçılım grafikleri görülmektedir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 de baraj hazne seviyesi test verileri için sırasıyla dağılım ve saçılım grafikleri görülmektedir.



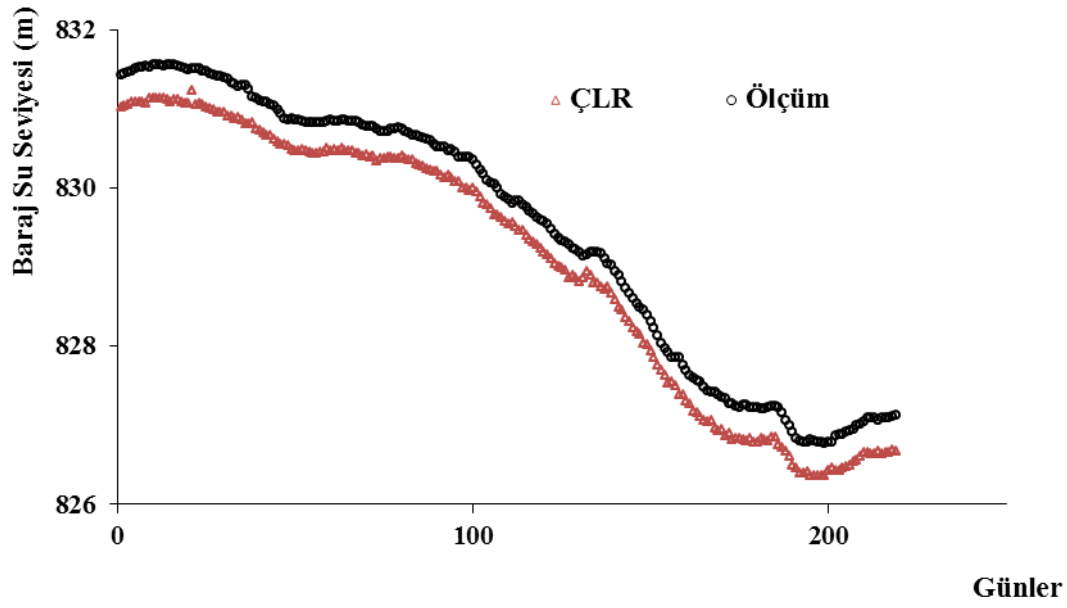
Şekil 4.1. 2 yıllık baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

Şekil 4.1’de eğitim verileri için ÇLR dağılım grafiği incelendiğinde tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın olduğu görülmektedir.



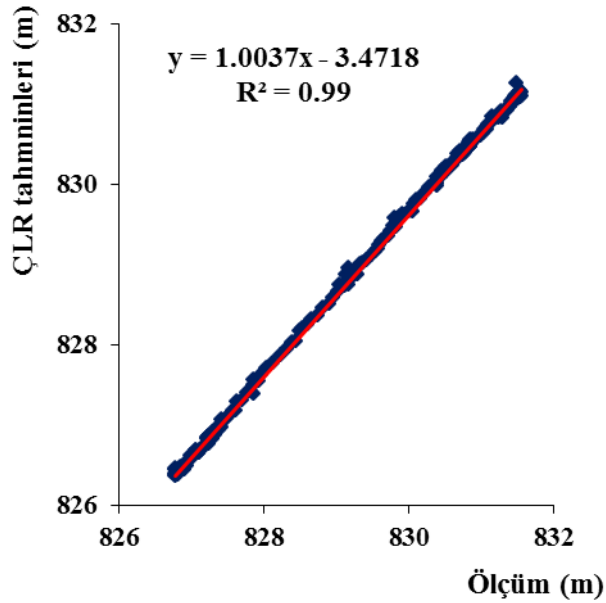
Şekil 4.2. 2 yıllık baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği

Şekil 4.2’de baraj hazne seviyesi için saçılım grafiği incelendiğinde determinasyon katsayısının iyi düzeyde olduğu ( $R^2=0,99$ ) ve gerçek değerlere yakın değerler verdiği görülmektedir.



Şekil 4.3. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve ÇLR dağılım grafiği

Şekil 4.3'te ise ÇLR modeli test sonuçları için dağılım grafiği gösterilmiştir. Şekle bakıldığında zaman baraj hazne seviyesinin tahmini değerlerinin gerçek değerlere yakın olduğu görülmektedir.

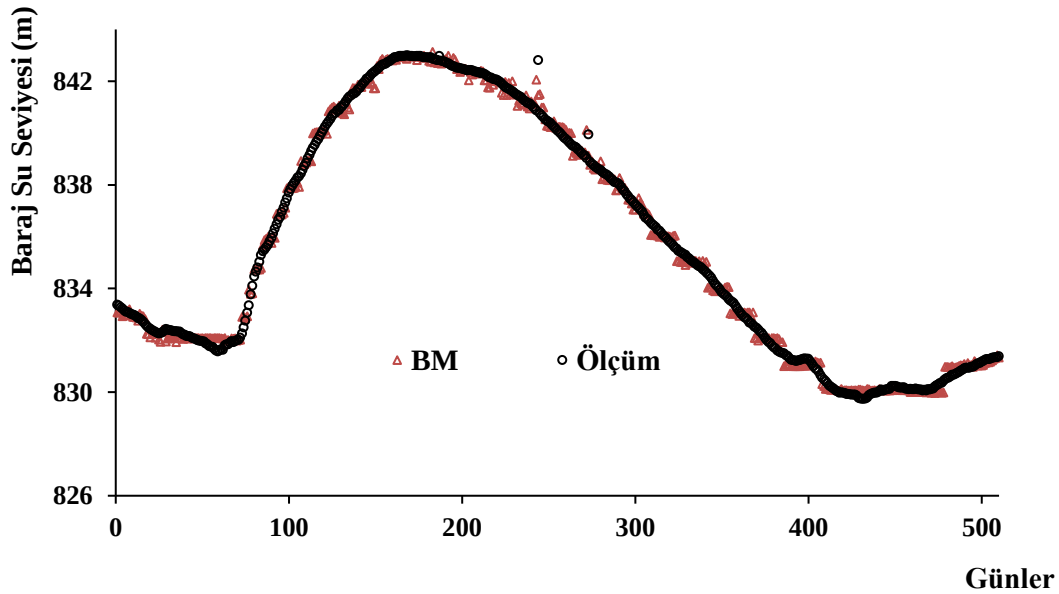


Şekil 4.4. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve ÇLR saçılım grafiği

Şekil 4.4'te ÇLR modeli test sonuçları için saçılım grafiği gösterilmiştir. Şekle bakıldığında korelasyon katsayısının  $R^2=0,99$  olduğu olduğu tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın olduğu gözlenmiştir.

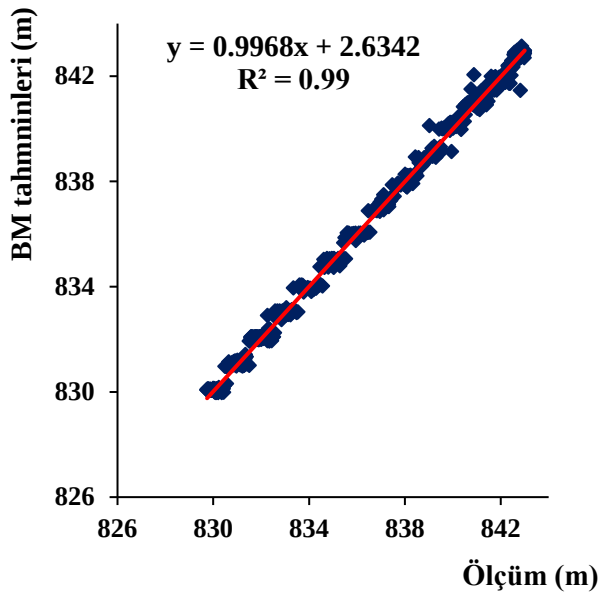
#### 4.2.2. Bulanık mantık (BM) sonuçları

Geri yayımlı BM ağı, ölçülen günlük rezervuar verilerini kullanarak hazne seviyesini tahmin etmek için MATLAB hazır programı kullanılmış ve matlab dilinde bir ilave kod yazılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. BM modellerinin  $R^2$ , KOKH ve MOH terimlerinin test istatistiği Çizelge 4. 1'de sunulmuştur. BM modeli için, Şekil 4.5 ve 4.6 da baraj hazne seviyesi eğitim verileri için sırasıyla dağılım ve saçılım grafikleri, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 de baraj hazne seviyesi test verileri için sırasıyla dağılım ve saçılım grafikleri görülmektedir.



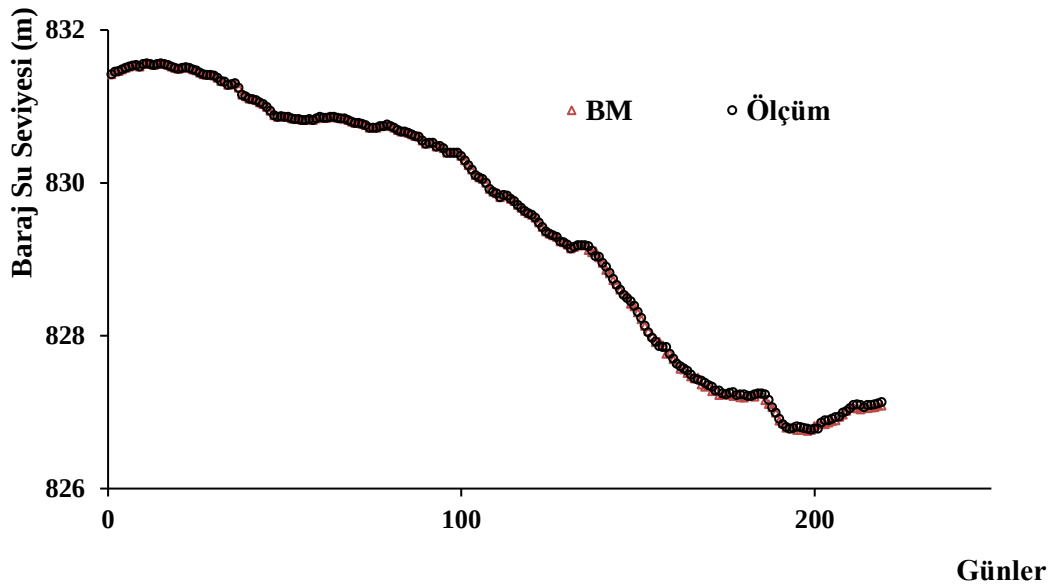
Şekil 4.5. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve BM dağılım grafiği

Şekil 4.5'te BM modeli test sonuçları için BM dağılım grafiği gösterilmiştir. Şekle bakıldığında zaman tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın olduğu gözlemlenmiştir.



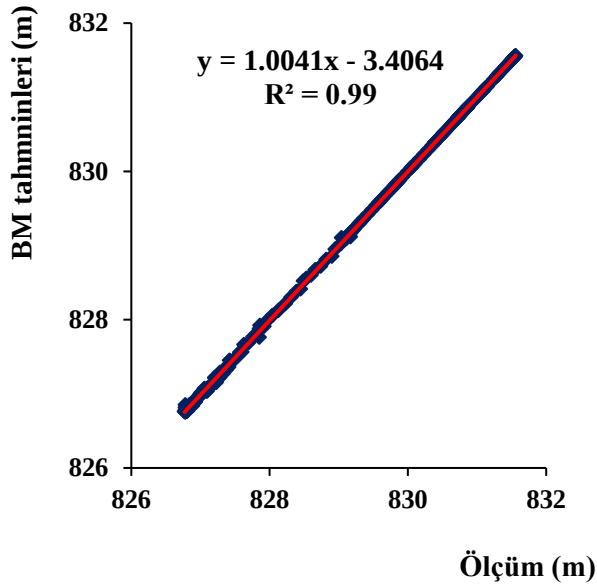
Şekil 4.6. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve BM saçılım grafiği

Şekil 4.6’da eğitim verileri için BM saçılım grafiği gösterilmektedir. Şekle bakıldığı zaman tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın olduğu ve Determinasyon katsayısının  $R^2=0,99$  olduğu görülmektedir.



Şekil 4.7. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve BM dağılım grafiği

Şekil 4.7’de test verileri için BM dağılım grafiği gösterilmektedir. Şekle bakıldığı zaman baraj su seviyesi tahmininin gerçek değerlere yakın olduğu görülmektedir.



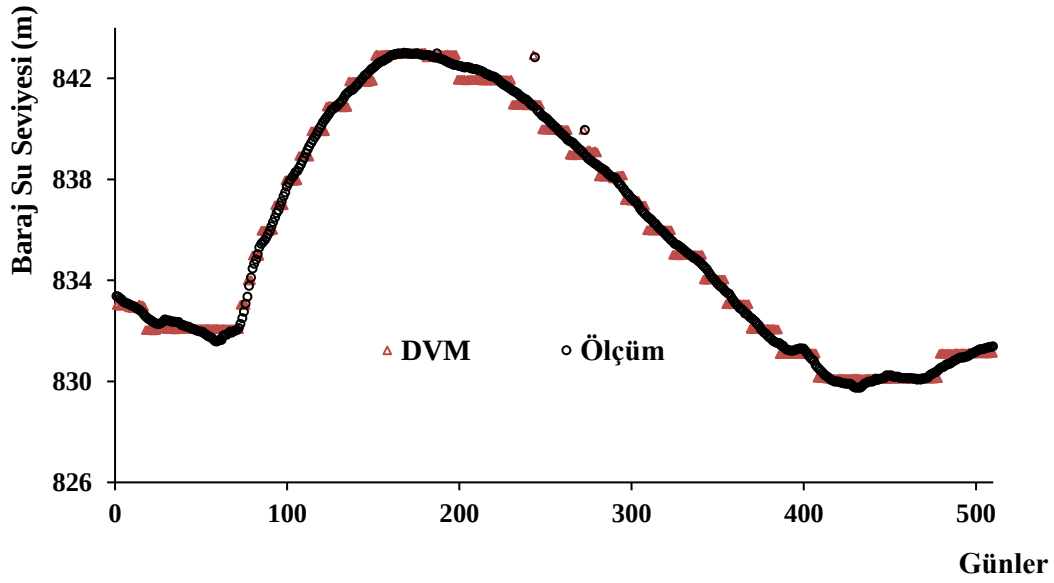
Şekil 4.8. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve BM saçılım grafiği

Şekil 4.8’de test verileri için BM saçılım grafiği gösterilmektedir. Şekle bakıldığı zaman tahmini değerlerin gerçek değerlere yakın olduğu ve determinasyon katsayısının  $R^2=0,99$  olduğu görülmektedir.

#### 4.2.3. Destek vektör makineleri sonuçları

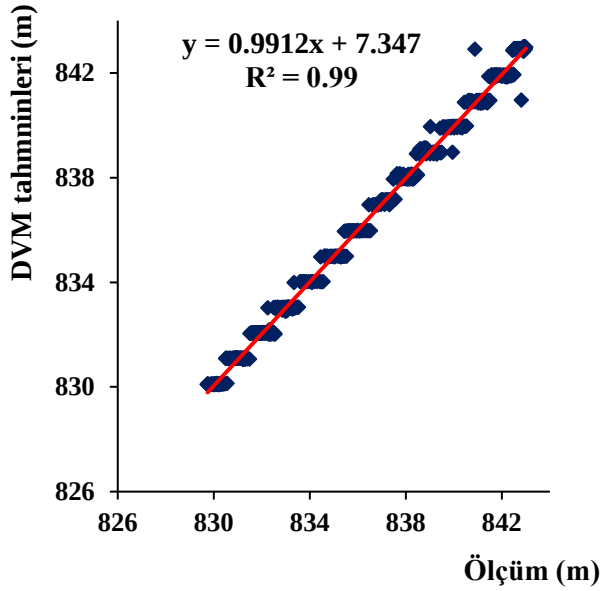
DVM modeli için doğrusal olmayan radyal tabanlı fonksiyon (RTF) kullanılmıştır. DVM modelinin  $R^2$ , KOHK ve MOH terimlerinin test istatistiği Çizelge 1’de sunulmuştur.

DVM modeli 2 yıllık veriler için değerlendirilmiş ve determinasyon katsayısı, elde edilen sonuçlardan  $R^2 = 0.99$  olarak elde edilmiştir. DVM test aşaması için tahmini değerleri ÇLR ve BM değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. Çizelge 1’den ve aşağıdaki şekillerden de görüldüğü gibi, DVM modeli test verileri için uygulandığında 0.99’ luk bir determinasyon ve oldukça düşük hata değerleri ile haznedeki günlük su seviyesi tahmin edilebilmiştir. Bütün veriler ve olayın fiziği dikkate alındığında, DVM modelinin ÇLR ve BM metodu ile uyumlu ve birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. DVM modeli için Şekil 4.9 ve 4.10 da eğitim verileri için sırasıyla dağılım ve saçılım grafikleri, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 de test verileri için sırasıyla dağılım ve saçılım grafikleri görülmektedir.



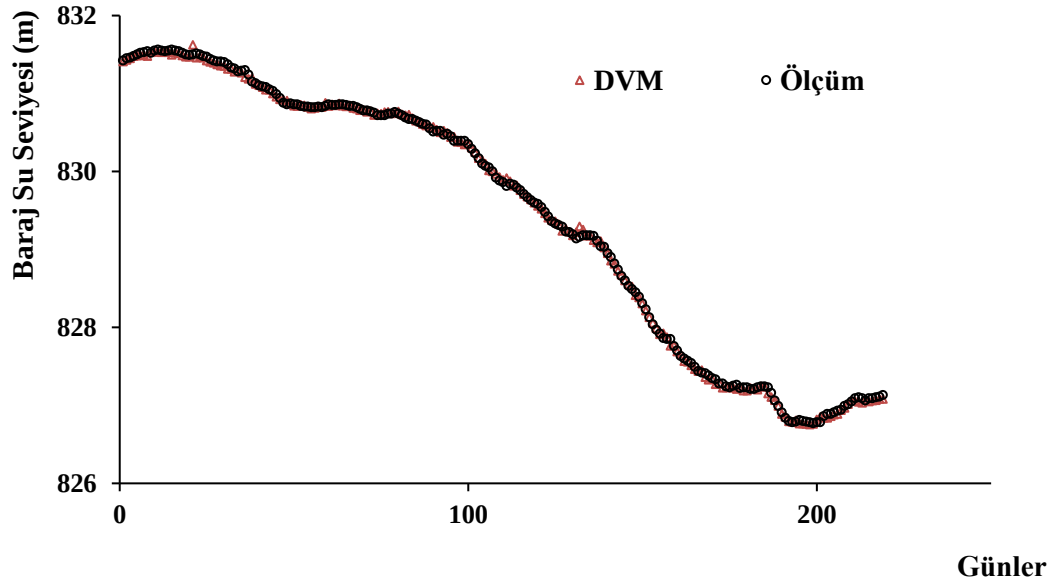
Şekil 4.9. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve DVM dağılım grafiği

Şekil 4.9’da DVM modeli için tahmini test sonuçları için dağılım grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde baraj su seviyesi tahminlerinin gerçek değerlere yakın olduğu gözlenmiştir.



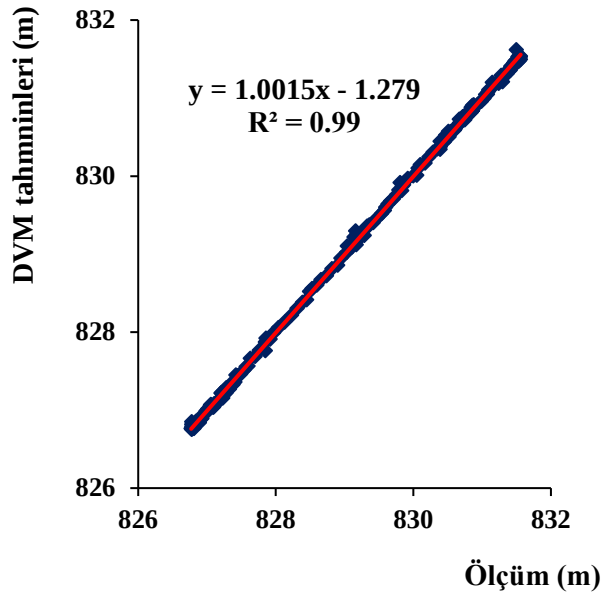
Şekil 4.10. Baraj hazne seviyesi eğitim verileri için Ölçüm ve DVM saçılım grafiği

Şekil 4.10'da DVM modeli için saçılım grafiği gösterilmiştir. Oluşturulan grafikte determinasyon katsayısının 0,99 olduğu ve gerçek değerlere yakın değerler verildiği görülmektedir



Şekil 4.11. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve DVM dağılım grafiği

Şekil 4.11'de DVM modeli için tahmini test sonuçları için dağılım grafiği gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde baraj su seviyesi tahminlerinin gerçek değerlere yakın olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.12. Baraj hazne seviyesi test verileri için Ölçüm ve DVM saçılım grafiği

Şekil 4.12’de DVM modeli için DVM saçılım grafiği gösterilmiştir. Oluşturulan grafikte determinasyon katsayısının  $R^2 = 0,99$  olduğu ve gerçek değerlere yakın değerler verildiği görülmektedir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Elazığ'ın Keban ilçesinde bulunan Keban Baraj Gölü'ne ait 2013 – 2014 yılları arasındaki günlük su seviyesi ölçüm değerleri ile Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünden alınan enerji gayesi, günlük toplam su sarfiyatı ve toplam buharlaşma miktarı değişkenleri kullanılarak Bulanık Mantık (BM), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Çoklu Lineer Regresyon (ÇLR) yöntemleri ile günlük hazne seviyesi tahmini yapılması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda baraj rezervuar seviyesinin doğru tespiti ve tahmini, rezervuar yönetiminde ve işletilmesinde daha iyi kararların alınmasına katkı sağlayacaktır. Bu tahminler sadece su kaynaklarının yönetimini optimize etmekle kalmayacak, aynı zamanda bir rezervuarın güvenliğini de sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında İki yıllık veriler dikkate alınarak Çoklu Lineer Regresyon analizi (ÇLR), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve bulanık mantık (BM) için modeller oluşturulmuştur. BM, DVM ve ÇLR modellerinde toplam 731 verinin 511 verisi eğitim için 220 verisi de test için uygulanmıştır. Model ile elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Her bir model için ortalama karesel hataların karekökü (KOKH), ortalama mutlak hata (MOH) ve gözlemlenmiş değerler arasındaki determinasyon katsayıları ( $R^2$ ) belirlenerek karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar aşağıda bulunmaktadır.

- BM, DVM ve ÇLR modelleri, KOKH, MOH ve  $R^2$  kriterlerine göre değerlendirildiğinde birbirlerine yakın ve başarılı sonuçlar vermiştir.
- 2 yıllık baraj hazne seviye verileri için ÇLR dağılım ve saçılım grafikleri incelendiğinde model sonuçların gerçek ölçüm değerleri ile uyumlu sonuç gösterdiği gözlemlenmiştir. ÇLR model için  $R^2=0,99$  gibi yüksek determinasyon katsayısı elde edilmiştir.

- BM modelleri 2 yıllık veriler için değerlendirilmiş ve determinasyon katsayısı elde edilen sonuçlardan  $R^2 = 0.99$  olarak elde edilmiştir. BM modeli için tahmin değerleri ÇLR değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. BM modeli sonuçları oldukça düşük hata ve yüksek korelasyon değerleri ile haznedeki günlük su seviyesinin tahmininde başarı göstermiştir. Bütün veriler ve dikkate alındığında, BM modelinin ÇLR metodu ile uyumlu ve birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.
- DVM model sonuçları da ÇLR ve BM değerlerine yakın sonuçlar vermiştir. Çizelge 1'den ve şekillerden de görüldüğü gibi, DVM modeli test verileri için uygulandığında 0.99' luk bir determinasyon ve oldukça düşük hata değerleri ile haznedeki günlük su seviyesi tahmininde başarılı olmuştur. Bütün veriler dikkate alındığında, DVM modelinin ÇLR ve BM metodu ile uyumlu ve birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalar sonucunda bulunulabilecek öneriler şunlardır:

- Farklı yapay zeka yöntemleri kullanılarak farklı bölgelerdeki baraj hazne seviye tahminleri için çalışmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abduljabar, J. S. (2011). *Bulanık Mantık Yöntemi Kullanarak Gazlı İçeceklerde Karbondioksit Kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Aksoy, H. (2015). *Hidrolojik Modelleme Çalışmaları*. Türkiye Su Bütçesinin Belirlenmesi Çalıştayı ve TUHK Toplantısı.
- Arat M. M. (2014). Destek Vektör Makineleri Üzerine Bir Çalışma, Hacettepe Üniversitesi, s.3
- Arslan, M. (2019). *Öğretmen Performanslarının Bulanık Mantık Yöntemi İle Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Eğitim Bilimleri Anabilim Dalı.
- Arslan, O. (2008). *Yağış - Yeraltı suyu İlişkisi Modellerinin Değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı.
- Aslangiray, A. (2011). *İstatistiksel Süreç Kontrolünde Bulanık Mantık Yaklaşımı ve Bir Uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü / İşletme Anabilim Dalı.
- Ateş, N. (2014). Destek Vektör Makineleri Ve Gauss Karışım Modeli İle İstenmeyen E-Postaların Tespiti, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, s.24-27
- Aydın, F. A. ve Doğu, A. (2018). Göllerde Seviye Değişimleri Ve Nedenleri: Van Gölü Örneği. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (41), 183-208.
- Aydın, M. C., Çelik, R. ve Yaylak, M. M. (2015). *Küresel İklim Değişikliğinin Keban Barajı'na Hidrolojik Etkisi*. 4. Su Yapıları Sempozyumu.
- Babuska, R. and Verbruggen, H. (2003). Neuro-fuzzy methods for nonlinear system identification. *Annual Reviews in Control*, 27(1). 73-85.
- Bağcı, B. (2018). *Bulanık Esnek Kümelere Dayalı Birleştirilmiş Bir Tahminleme Yaklaşımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.
- Ballı, S., Uğur, A. ve Korukoğlu, S. (2009). İnsan kaynakları yönetiminde performans değerlendirme için bir bulanık uzman sistem gerçekleştirimi. *Ege Akademik Bakış*, 9 (2), 837-849.
- Baykal, N. ve Beyan, T. (2004). *Bulanık mantık ilke ve temelleri*. Ankara: Bıçaklar Kitapevi.

- Berber, E. (2006). *Buharlaşmayı İdare Eden Dinamik Sistemin Elde Edilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Berry, W. D. (1993). *Understanding Regression Assumptions*. America: SAGE Publications
- Bilgi, R. (2018). *Türkiye'deki iş sağlığı ve güvenliğinin bulanık mantık yöntemi ile analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Çelik, E. (2012). *Sürekli mıknatıslı senkron motor denetiminin genetik tabanlı bulanık mantık denetleyici ile ara yüz destekli simülasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı.
- Çemrek, F., Şentürk, S. ve Terlemez, L. (2010). Bulanık Kümeleme Analizi İle Oecd Ülkelerinin CO<sub>2</sub> Emisyonları Bakımından İncelenmesi. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 5 (3), 52-69.
- Çomak, E. (2008). Destek Vektör Makinelerinin Etkin Eğitimi İçin Yeni Yaklaşımlar, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, s.24-25.
- Das, M., Ghosh, S. K., Chowdary, V. M., Saikrishnaveni, A., and Sharma, R. K. (2016). A probabilistic nonlinear model for forecasting daily water level in reservoir. *Water Resources Management*, 30(9), 3107-3122.
- Devlet Su İşleri (2017). *Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Hidroloji Çalışma Grubu Raporu*. 2.Ormancılık ve Su Şurası 5 - 7 Mayıs.
- Doğan, E., Işık, S. ve Sandalcı, M. (2007). Günlük Buharlaşmanın Yapay Sinir Ağları Kullanarak Tahmin Edilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 4119(4131), 271.
- Dönmez, U. (2012). *İstatistiksel proses kontrol tablolarının bulanık mantık yöntemi ile yorumlanması ve bir iplik işletmesinde uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Dülger, Ö. (2009). *Bulanık Kayma Kipli Kontrol Yönteminin İyileştirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Elmas, Ç. (2003). *Bulanık mantık denetleyiciler*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Elmas, Ç. (2011). *Yapay zeka uygulamaları*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Eranıl, B. (2008). *Bulanık Hedef Programlama Yaklaşımı Ve Tedarikçi Seçimi Problemine Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Erkaymaz, H. ve Çayıroğlu, H. (2010). *Bulanık mantık ve pic kullanarak bir klima sisteminin kontrolü*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2, 167-180.

- Esendal, H. (2007). *Eğirdir Gölü Su Seviyesi Mevsimsel Değişiminin Bulanık Mantık Metoduyla Modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Fırat, M., Yurdusev, M. A. ve Mermer, M. (2008). Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Aylık Su Tüketiminin Tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(2), 449-457.
- Gujirati, D. N. (2018). *Temel Ekonomi*. İstanbul: Literatür Ders Kitapları.
- Gülbağ, A. (2006). *Yapay sinir ağı ve bulanık mantık tabanlı algoritmalar ile uçucu organik bileşiklerin miktarsal tayini*. (Doktora Tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Güler, C. (2011). Su Döngüsü. *Bilim ve ütopya*, 17 (205), 74-79.
- Gürgeç, T. (2013). *Sürekli değişken transmisyon sisteminin hız oranı kontrolü için bulanık mantık kontrol organı dizaynı*. (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Hacımurtazaoğlu, M. (2013). Bulanık mantık ile manyetik alan kilit uygulaması. XV. Akademik Bilişim Konferansı, Antalya, Türkiye.
- Hernandez-Ambato, J., Asqui-Santillan, G., Arellano, A., e Cunalata, C. (2017, December). Multistep-ahead Streamflow and Reservoir Level Prediction Using ANNs for Production Planning in Hydroelectric Stations. In *2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)* (pp. 479-484). IEEE.
- Hin, L. Z., & Othman, Z. (2020). Lake Chini Water Level Prediction Model using Classification Techniques. In *Computational Science and Technology* (pp. 215-226). Springer, Singapore.
- Jang, J. R., Sun, C. ve Mizutani, E. (1997). *Neuro-fuzzy and soft computing*. Prentice Hall: Library of Congress Cataloging in Publication.
- Irvine, K. N. and Eberhardt, A. J. (1992). Multiplicative, Seasonal Arima Models For Lake Erie And Lake Ontario Water Levels. 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 28(2), 385-396.
- Işıklı, Ş. (2008). Bulanık mantık ve bulanık teknolojiler. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Bölümü Dergisi*, 37,105-126.
- İşbilen Yücel, L. (2005). *Bulanık regresyon: Türkiye’de 1980-2004 döneminde kayıt dışı ekonominin bulanık yöntemlerle tahminine ilişkin bir uygulama*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ekonometri Anabilim Dalı.
- Kahveci, H., Okumuş , H. ve Ekici, M. (2013). An electronic differential system using fuzzy logic speed controlled in wheel brushless DC motors. In *4th International*

- Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 13-17 May 2013, İstanbul, Türkiye.
- Kaptanoğlu, D. ve Özok, A. F. (2006). Akademik performans değerlendirmesi için bir bulanık model. *İTÜ Dergisi - D Mühendislik*, 5(1), 193-204.
- Karaca, C. ve Karacan, H. (2016). Çoklu Regresyon Metoduyla Elektrik Tüketim Talebini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (3), 183-194.
- Konar, M. (2010). *Bulanık mantık ve yapay sinir ağları kullanılarak uçuş kontrol sistemlerine ait bazı parametrelerin hesaplanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Sivil Havacılık Anabilim Dalı.
- Küçükerdem, T. S., Kilit, M. ve Saplıoğlu, K. (2019). Bulanık çıkarım sistemlerinde kullanılan küme sayılarının K-ortalamlar ile belirlenmesi ve baraj hacmi modellenmesi: Kestel barajı örneği. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(8), 962-967.
- Koutsoyiannis, A. (1989). *Ekonometri Kuramı: Ekonometri Yöntemlerinin Tanıtımına Giriş ve Teori*, Ankara.
- Liong, S.Y., Lim, W.H., Kojiri, T. and Hori, T. (2000) Advance Flood forecasting for Flood stricken Bangladesh with a fuzzy reasoning method, *Hydrological Process*, 14: 431- 448.
- Mahabir, C., Hicks, F.E. and Fayek A.R. (2003) Application of fuzzy logic to the seasonal runoff, *Hydrological Process*, 17: 3749-3762.
- Mamdani, E. H. and Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *Int. Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.
- Maruf, A. G. (2019). *Hatay İli Dörtüyl Bölgesi Yer Altı Su Seviyesinin Bulanık Mantık, Çoklu Lineer Regresyon ve Arma Modelleri İle Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi). İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Meriç, T. (2007). *Hidroloji. Sulakalan Yönetim Planlaması Rehberi*, Kuş Araştırmaları Derneği, 23-51.
- Mikail, R. (2007). *Tuzlu Toprakların Islahı İçin Bir Bulanık Uzman Sistem Tasarımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Matematik Anabilim Dalı.
- Mohammadi, K., Eslami, H. R., & Kahawita, R. (2006). Parameter estimation of an ARMA model for river flow forecasting using goal programming. *Journal of Hydrology*, 331(1-2), 293-299.
- Nayak, P.C., Sudheer, K.P. and Ramasastri, K.S. (2004a) Fuzzy computing based rainfall-runoff model for real time flood forecasting. *Hydrological Process*, 17, 3749-3762.

- Nurduhan, M. (2017). *Liman tesislerinin Güvenlik Performansının Bulanık Mantık Yöntemiyle Ölçülmesi: Bir Liman Uygulaması*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Odabaşı, B. (2011). *Rezervuarlarda Sediment Birikiminin Önlenmesi Ve Rezervuar Ekonomik Ömrünün Uzatılması*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Okkan, U. (2020). *Hidroloji Ders Notları*. Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- Onur, F. (2015). *Baraj Gölü Doluluk Tahmininde Bulanık Mantık Yaklaşımı*. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı.
- Onur, F., Ergun, B. ve Şahin, C. (2016). *Bulanık Mantık Yaklaşımıyla Baraj Gölü Doluluk Tahmini Çalışması*. 6. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim, Adana.
- Özdağoğlu, A. (2008). *Bulanık Analitik Serim Süreci Yaklaşımı İle Çok Ölçütlü Karar Verme ve Bir İşletme Uygulaması*. (Doktora Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Özdemir, M.A. ve Özgen, N. (2004). *Keban Barajı'ndan Su Kaçakları ve Sunduğu Doğal Potansiyel*. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 65-86.
- Öztürk, B. (2011). *Çok Kriterli Karar Verme Tekniklerinden Bulanık Topsis Ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci*. (Doktora Tezi). Uludağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Parada R., Font J., Casas-Roma J. (2019) Forecasting Water Levels of Catalan Reservoirs. In: Torra V., Narukawa Y., Pasi G., Viviani M. (eds) Modeling Decisions for Artificial Intelligence. MDAI 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11676. Springer, Cham.
- Salimiasl, A. (2014). *Tornalama işlemlerinde takım aşınmasının bulanık mantıkla ve yapay sinir ağlarıyla tahmini*. (Doktora Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı.
- Sattari, M. T., Salmasi, F. ve Öztürk F. (2008). *Sulama amaçlı hazne kapasitesinin belirlenmesinde çeşitli yöntemlerin karşılaştırılması*. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(1), 1-7.
- Simonovic, S. P. (1992). Reservoir system analysis: Closing gap between theory and practice. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 118(3), 262-280.

- Srinivasan, K., Neelakantan, T.R., Narayan, P.S and Nagarajukumar, C. (1999). Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 125(5), 298-301.
- Sugeno, M. (1985). An introductory survey of fuzzy control. *Information Sciences*, 36 (2), 59-83.
- Şen, Z. (2004). *Mühendislikte bulanık (fuzzy) modelleme ilkeleri*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.
- Şen, Z. (2001). *Bulanık (fuzzy) mantık ve modelleme ilkeleri*. İstanbul: Bilge Kültür Sanat Yayıncılık.
- Şen, Z. ve Altunkaynak, A. (2006) A comparative fuzzy logic approach to runoff coefficient and runoff estimation. *Hydrological Process*, 20, 1993-2009.
- Şener, E. ve Morova, N. (2014). Bulanık Mantık ve Doğrusal Regresyon Analizleri ile Burdur Gölü Su Seviyesi Değişimlerinin Modellenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 15 (1), 60-66.
- Şentürk, S. (2006). *Deney Planlamasında Bulanık Mantık Yaklaşımı*. (Doktora Tezi). Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taheri, S.M. (2013). Trends in fuzzy statistics. *Austrian Journal of Statistics*, 32, 239-257.
- Tarı, R. (2015). *Ekonometri*. Ankara: Umuttepe Yayınları.
- Taş, E. (2018). *Hidrolojik Çevrim*. 17 Mart 2020 tarihinde <http://erkintas.blogspot.com/2018/02/hidrolik-cevrim.html> adresinden alınmıştır.
- Türkoğlu, H. İ. (2013). *Terkos Gölüne Gelen Aylık Debinin Çeşitli Metotlarla Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Türkyılmaz, S. (2012). *Tek serbestlik dereceli bir dengeleme mekanizmasının bulanık mantık ile kontrolü*. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Üneş, F, Varçin, H. (2015), Investigation of seasonal thermal flow in a real dam reservoir using 3-D numerical modeling, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 63(1), 38-46.
- Üneş, F., Demirci, M., Taşar, B., Kaya, Y. Z. ve Varçin, H. (2019a). Estimating Dam Reservoir Level Fluctuations Using Data-Driven Techniques. *Pol. J. Environ. Stud*. 28 (5), 3451-3462.
- Üneş, F., Demirci, M., Taşar, B., Kaya, Y. Z., ve Varçin, H. (2019b). Modeling of dam reservoir volume using generalized regression neural network, support vector machines and M5 decision tree models.

- Üneş, F., Maruf, A. G. ve Taşar, B. (2019c). Ground Water Level Estimation for Dörtöyöl region in HATAY. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 4(3), 859-864.
- Vafakhah, M. (2012). Application of artificial neural networks and adaptive neurofuzzy inference system models to short-term streamflow forecasting. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(4), 402-414.
- Vaziri, M. (1997). Predicting Caspian Sea surface water level by ANN and ARIMA models. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 123(4), 158-162.
- Wooldridge, J. M. (2013). *Ekonometriye Giriş*, Cilt:1 (Çev.: Ebru Çağlayan). Ankara: Nobel Yayıncılık.
- Yalçın, N., Bayrakdaroğlu, A. ve Kahraman, C. (2012). Application of fuzzy multicriteria decision making methods for financial performance evaluation of turkish manufacturing industries. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 350-364.
- Yalçın, H. (2014). *Hayvansal üretime ait zaman serilerinde bulanık mantık modellemesinin kullanılması*. (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi Zootekni Anabilim Dalı.
- Yaseen, Z. M., Jaafar, O., Deo, R. C., Kisi, O., Adamowski, J., Quilty, J. and El- Shafie, A. (2016). Stream-flow forecasting using extreme learning machines: A case study in a semi-arid region in Iraq. *Journal of Hydrology*, 542, 603-614.
- Yenigün K. ve Gümüş V. (2009). *İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidroloji Ders Notları* (1. Baskı). Harran Üniversitesi.
- Yıldız, N. ve Bircan, H. (2008). *Uygulamalı İstatistik*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Yılmaz, M. ve Arslan, E. (2005). Bulanık mantığın jeodezik problemlerin çözümünde kullanılması. 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İstanbul, Türkiye.
- Yurtçu Ş. ve İçağa Y., 2005. Akarçay havzası yeraltı suyu periyodik davranışının modellenmesi. *Teknolojik Araştırmalar Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1 (2): 21-28.
- Yüzük, F. (2019). *Çoklu Regresyon Analizi Ve Yapay Sinir Ağları İle Türkiye Enerji Talep Tahmini*. (Yüksek Lisans Tezi). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Ana Bilim Dalı.
- Zadeh, L. A. (1971). Similarity relations and fuzzy orderings. *Information Sciences*, 3, 177-200.
- Zadeh, L. A. (1998). Commercialism and human values - When You Can't Stop for Lunch. *Azerbaijan International*, 6 (1), 65.

Zare, M. and Koch, M. (2014). 3D-groundwater flow modeling of the possible effects of the construction of an irrigation/drainage network on water-logging in the Miandarband plain, Iran. *J. Soil Environ. Sci*, 2, 2345-4090.



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı,adı : ARSLAN, Hatice  
Uyruğu :T.C.  
Doğum tarihi ve yeri :03.07.1991, ELAZIĞ  
Medeni hali :Bekar  
Telefon :.....  
e-mail :haticearslan23123@gmail.com



### Eğitim

| Derece        | Eğitim Birimi                                      | Mezuniyet Tarihi |
|---------------|----------------------------------------------------|------------------|
| Yüksek Lisans | İskenderun Teknik Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği | Devam ediyor     |
| Lisans        | İskenderun Teknik Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği | 2015             |
| Lise          | Balakgazi Lisesi                                   | 2009             |

### Yabancı Dil

İngilizce

## DİZİN

### **B**

*Bulanık mantık*

2, 13, 14, 15, 16, 20, 22, 23, 26, 27,  
28, 29, 30, 31, 32, 45, 48, 50, 51

### **H**

*Hidroloji*

3, 4, 5, 6, 7, 8

### **R**

*Regresyon*

12, 15, 18, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40,  
41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

### **Ç**

*Çoklu Lineer*

12, 18, 20, 40, 45, 46, 50

### **Ü**

*Üyelik Derecesi*

24, 25, 26, 27

*Üyelik Fonksiyonu*

25,26,27,28,29,30,

### **Y**

*Yapay Zeka*

8

### **E**

*EKK*

36, 38

### **P**

*Perkolasyon*

7



**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

