

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**URANYUM ARAMALARINDA RADYOAKTİF JEOFİZİK KUYU LOGU ÖLÇÜ  
DEĞERLERİ VE SONDAJDAN ALINAN NUMUNELERDEN ELDE EDİLEN  
LABORATUVAR DEĞERLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hakan AKGÜL**

**Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**AĞUSTOS 2023**



**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**URANYUM ARAMALARINDA RADYOAKTİF JEOFİZİK KUYU LOGU ÖLÇÜ  
DEĞERLERİ VE SONDAJDAN ALINAN NUMUNELERDEN ELDE EDİLEN  
LABORATUVAR DEĞERLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hakan AKGÜL**

**Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Günay BEYHAN**

**AĞUSTOS 2023**



Hakan Akgül tarafından hazırlanan “Uranyum Aramalarında Radyoaktif Jeofizik Kuyu Logu Ölçü Değerleri ve Sondajdan Alınan Numunelerden Elde Edilen Laboratuvar Değerleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 22.08.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

<b>Jüri Başkanı :</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Eray YILDIRIM</b> Bursa Teknik Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi :</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Günay BEYHAN</b> Sakarya Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi :</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Ayhan KESKİNSEZER</b> Sakarya Üniversitesi	.....



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Uranyum Aramalarında Radyoaktif Jeofizik Kuyu Logu Ölçü Değerleri ve Sondajdan Alınan Numunelerden Elde Edilen Laboratuvar Değerleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(23/06/2023).

(imza)

Hakan AKGÜL





## TEŞEKKÜR

Bilimsel açıdan çok verimli geçen yüksek lisans eğitimim boyunca çok değerli bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, yüksek lisans eğitimimin başından bu araştırmanın planlanması ve yazılmasına kadar her tür aşamasında yardımlarını ve desteğini esirgemeyen, yön gösteren ve tüm bilgi birikimini olgunlukla ve içtenlikle benimle paylaşan 2022 yılında kaybettiğimiz değerli hocam sayın Yrd.Doç.Dr. Can KARAVUL'a ve tez aşamasında hocamızı kaybettikten sonra benimle çalışmayı ve değerli bilgilerini benimle paylaşıp bana yön gösteren tez aşamasının her aşamasında bana yardımcı olup yönlendiren değerli danışman hocam sayın Yrd.Doç.Dr. Günay BEYHAN içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma esnasında ve daha öncede yazdığımız makalede bilgisini ve deneyimlerini içtenlikle benimle paylaşıp, çalışmayı olgunlaştırıp, bildiklerimi tekrardan göz geçirip yeni bakış açısı oluşturan bilmediklerimi de içtenlikle ve samimi bir şekilde öğreten çalışmayı bu aşamaya getirmemi sağlayıp, yardımcı olan sayın Yrd.Doç.Dr. Eray YILDIRIM hocama,

Bana bu çalışmadaki verileri kullanma ve yapabilme fırsatı tanıyan aynı zamanda da personeli olduğum için gurur duyduğum Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğüne,

Her zaman ve her şartta yanımda olup bana desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen canım eşim Nahide Güney AKGÜL, oğullarım Utku ve Mete'ye, ailemin tüm üyeleri, dostlarım ve üzerimde emeği olan herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hakan Akgül

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER .....	xiii
TABLO LİSTESİ .....	xv
ŞEKİL LİSTESİ .....	xvi
ÖZET.....	xviii
SUMMARY.....	xx
<b>1. GİRİŞ VE AMAÇ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışma Alanı ve Veri Toplama .....	2
1.2. Önceki Çalışmalar .....	6
1.2.1. Yapay zeka çalışmaları.....	6
1.2.2. Jeofizik kuyu logu çalışmaları.....	8
<b>2. MATERYALLER VE KULLANILAN YÖNTEMLER .....</b>	<b>11</b>
2.1. Jeoloji .....	11
2.1.1. Bölgesel jeoloji.....	11
2.1.2. Stratigrafi.....	11
2.1.3. Yapısal jeoloji .....	17
2.2.1. Jeofizik kuyu logu .....	19
2.2.1.1. Doğal olguların ölçülmesi .....	20
2.3. Yapay Zeka.....	25
2.3.1. Yapay zeka teknikleri.....	27
2.3.2. Makine öğrenmeleri .....	30
<b>3. UYGULANAN MATERYALLER VE VERİ TOPLAMA .....</b>	<b>35</b>
3.1. Jeofizik Kuyu Logu .....	35
3.1.1. Naturel gamma rayspectroscopy logu ve toplama .....	35
3.2. Jeoloji Araştırması ve Laboratuvar Verilerinin Elde Edilmesi .....	40
3.2.1. Jeoloji arama çalışmaları .....	40
3.2.2. Jeolojik olarak uranyum zonunun belirlenmesi .....	41
3.2.3. Karotlardan numunelerinin laboratuvar ortamında değerlendirilmesi .....	42
3.3. Doğrusal regresyon analizi ve kullanılan metot .....	43
3.3.1. Çalışmamızda kullanılan doğrusal regresyon analizi .....	44
3.4. Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Kullanılan Metot.....	45
3.4.1. Yapay sinir ağlarının yapısı.....	46
3.4.2. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması .....	49
3.4.3. Yapay sinir ağlarında öğrenme mantığı .....	52
3.4.4. Levenberg – Marquardt (LM) yöntemi .....	53
3.4.5. Çalışmamızda YSA’da kullanılan metotlar.....	53

3.5. Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS) .....	54
<b>4. RADYOAKTİF JEOFİZİK LOGUNDA TAHMİNİ URANYUM DEĞERİ</b>	<b>58</b>
4.1. Uranyum Değer Tahmininde Doğrusal Regresyon Analizi .....	59
4.2. Uranyum Değer Tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi.....	61
4.3. Uranyum Değer Tahmininde ANFİS Yöntemi .....	64
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>72</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>75</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>78</b>

## KISALTMALAR

<b>ANFİS</b>	:Adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi
<b>API</b>	:American Petroleum Institute
<b>DVM</b>	:Destek vektör makineleri
<b>Gauss</b>	:Gaussian
<b>GBELL</b>	:Generalized bell shaped
<b>GR</b>	:Gamma Ray
<b>İBGY</b>	:İleri beslemeli geri yayımlı
<b>JGR</b>	:Jeofizik gamma ray değeri
<b>JU</b>	:Jeofizik uranyum değeri
<b>K</b>	:Potasyum
<b>Karot</b>	:Sondaj yapılırken yeraltından belirli bir geometriye sahip numune
<b>LM</b>	:Levenberg – Marquardt
<b>LU</b>	:Laboratuvar uranyum değeri
<b>MeV</b>	:Milyon elektro volt
<b>MSE</b>	:Mean squared error
<b>MTA</b>	:Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
<b>m/dk</b>	:Metre/dakika hız birimi
<b>Nal</b>	:Sodyum iyodür
<b>N</b>	:Nöron sayısı
<b>Qe, Qal</b>	:Alüvyon
<b>Qç</b>	:Kızılırmak Çakıltaşları

<b>Pmp</b>	:Bozçalda Formasyonu
<b>ppm</b>	:Parts per million
<b>prop</b>	:Jeofizik kuyu logunda kullanılan sonda
<b>R<sup>2</sup></b>	: Belirlilik katsayısı
<b>SGR</b>	: Spektral Gamma Ray
<b>Tai</b>	: İlicek üyesi
<b>Tak</b>	: Kubaca üyesi
<b>Tal</b>	: Lalelik Üyesi
<b>Tas</b>	: Saytepe Üyesi
<b>Th</b>	: Toryum
<b>Tka</b>	: Arafa Üyesi
<b>Trap</b>	: Trapezoidal
<b>TRİ</b>	: Triangular
<b>Tük</b>	: Kavak Üyesi
<b>Ty</b>	: Yüksekli Formasyonu
<b>U</b>	: Uranyum
<b>YSA</b>	: Yapay sinir ağları
<b>XRD</b>	: X-ışını difraktometresi
<b>XRF</b>	: X-ışını floresans spektrometresi



## SİMGELER

$\alpha$  : Alfa ışınması

$\beta$  : Beta ışınması

$\gamma$  : Gama ışınması





## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1.</b> Biyoloji sinir sistemi ve yapay sinir ağlarındaki karşılıkları (Öztürk ve Şahin, 2018) .....	45
<b>Tablo 4.1.</b> Veri gruplarının oluşturulması. ....	59
<b>Tablo 4.2.</b> Eğitim veri setinin doğrusal regresyon analiz ve istatistik sonuçları. ....	60
<b>Tablo 4.3.</b> Test verisinin doğrusal regresyon analiz ve istatistik sonuçları. ....	61
<b>Tablo 4.4.</b> Çalışmada kullanılan 3 grupta eğitim verileri için oluşturulan 2'den 20'ye kadar ikişer artışla alınan nöron sayılarına sahip YSA model performans tahmin sonuçları. ....	62
<b>Tablo 4.5.</b> Çalışmada kullanılan 3 grupta test verileri için oluşturulan 2'den 20'ye kadar ikişer artışla alınan nöron sayılarına sahip YSA model performans tahmin sonuçları. ....	63
<b>Tablo 4.6.</b> Üçgen (Triangular membership function, trimf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitim modellerinin sonuçları. ....	65
<b>Tablo 4.7.</b> Yamuk (Trapezoidal membership function, trapmf) ) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitim modellerinin sonuçları. ....	65
<b>Tablo 4.8.</b> Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu (Generalized bell shaped membership function, gbellmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitim modellerinin sonuçları. ....	66
<b>Tablo 4.9.</b> Gaussian (gaussian, gaussmf) ) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitim modellerinin sonuçları. ....	67
<b>Tablo 4.10.</b> Üçgen (Triangular membership function, trimf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları. ....	67
<b>Tablo 4.11.</b> Yamuk (Trapezoidal membership function, trapmf) ) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları. ....	68
<b>Tablo 4.12.</b> Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu (Generalized bell shaped membership function, gbellmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları. ....	69
<b>Tablo 4.13.</b> Gaussian (gaussian, gaussmf) ) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları. ....	69

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanını gösterir yer bul haritası (Karaca, MTA, 2019). ....	3
Şekil 2.1. Çalışma alanı ve yakın civarının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (MTA, 1989).....	12
Şekil 2.2. Jeofizik kuyu logu alım şekline bir örnek.....	19
Şekil 2.3. Formasyonlarda gama ışınmasının verdiği tepki ve sayısal değer aralıkları örneği (Pekiner, 2002).....	23
Şekil 2.4. Sondaj kuyusundan alınmış Natural Gamma Ray Spectroscopy logu ölçüsü. (Düşey değişimler kuyu derinliğini, yatay değişimler ölçülerin skalasını gösterir.) .....	25
Şekil 3.1. Sahada alınan jeofizik kuyu logu (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir).....	36
Şekil 3.2. Sahada alınan jeofizik kuyu logu (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir).....	37
Şekil 3.3. Sahada alınan jeofizik kuyu logu (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir).....	38
Şekil 3.4. Jeofizik ölçü ve uranyum seviyesinin gösterilmesi (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir). ....	39
Şekil 3.5. Sahada yapılan sondajlar ve yerleri. Çalışmada kırmızı ile gösterilmiş olan sondajların verileri kullanılmıştır (Google Earth, ölçeksiz).....	40
Şekil 3.6. Çalışma alanı jeolojisi (Kalender ve Alçıçek 2016). ....	41
Şekil 3.7. Çalışma alanındaki uranyum cevherleşmesine ait genel kavramsal model (Karaca, 2017).....	42
Şekil 3.8. Bir sinir hücresinin (nöron) biyolojik gösterimi (Neves ve diğ., 2017). ...	46
Şekil 3.9. Doğrusal fonksiyonu (Kızrak Ph.D. 2019). ....	47
Şekil 3.10. Sigmoid fonksiyonu (Kızrak Ph.D. 2019). ....	48
Şekil 3.11. Hiperbolik tanjant fonksiyonu (Kızrak Ph.D. 2019).....	48
Şekil 3.12. Yapay sinir ağı yapısına bir örnek .....	49
Şekil 3.13. İleri beslemeli YSA (Öztemel, E. 2003).....	50
Şekil 3.14. Geri besleme YSA (Öztemel, E. 2003). ....	51
Şekil 3.15. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi (Ok, Y. 2010).....	55



# URANYUM ARAMALARINDA RADYOAKTİF JEOFİZİK KUYU LOGU ÖLÇÜ DEĞERLERİ VE SONDAJDAN ALINAN NUMUNELERDEN ELDE EDİLEN LABORATUVAR DEĞERLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

## ÖZET

Jeofizik yer fiziği olarak adlandırılıp, üzerinde yaşadığımız dünyanın, fiziğin temel ilkelerinden yararlanarak araştırıp bu ilkeler doğrultusunda amaca uygun olarak doğal yeraltı kaynaklardan yarar sağlamak veya yer kaynaklı doğal afetlerle ilişkili olabilecek yapıların ortaya çıkarılmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda yeraltı araştırmalarında yeryüzünde araştırmaya konu olmuş doğal kaynak veya tektonik yapıların modellenip ortaya çıkarmasını, fiziksel problemlere dayandırarak ortaya bir model koyan bir bilim dalıdır. Jeofizik araştırma yöntemleri, yer üstünde ve yer altında olmak üzere iki türlü inceleme alını bulunmaktadır. Çalışmada sondaj kuyusundan alınan Jeofizik kuyu logu ölçü değerleriyle sondajdan alınan numunelerin laboratuvar değerlerinin sonuçları arasındaki ilişkiler, geleneksel ve esnek hesap yöntemlerinden faydalanarak yapılmaya çalışılacaktır.

Çalışmada uranyum sahasında açılan 290 kuyudan 130 sondaj kuyusundan elde edilen 466 adet veri seti kullanılmıştır. Bu veri seti sondajdan alınan jeofizik ölçüde elde edilen Gamma Ray ve Uranyum sayısal değerleri ile laboratuvar ortamında elde edilen Uranyum sayısal değerlerinden oluşmaktadır. Laboratuvar değerleri çıktı olarak kabul edilip jeofizik ölçüde elde edilen Gamma Ray ve Uranyum sayısal değerleri girdi olarak alınmıştır. Girdilerin birbiriyle kombinasyonu sonucunda 3 farklı grup oluşturulmuştur. Oluşan grupların veri seti kullanılarak geleneksel yöntem olan doğrusal regresyon analizi için 3 model oluşturulmuştur. Esnek hesap yöntemlerinden yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi için 30 model ve Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS) yöntemi için ise 36 model olmak üzere toplamda 69 modelden oluşan bir veri seti eğitilip test işlemlerine tabi tutulmuşlardır.

Modeller incelendiğinde ANFİS’de kullandığımız modellerin tahmin performans sonuçlarının diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.



# **RADIOACTIVE GEOPHYSICAL WELL LOG MEASUREMENT VALUES IN URANIUM EXPLORATION AND LABORATORY VALUES OBTAINED FROM SAMPLES TAKEN FROM DRILLING EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN**

## **SUMMARY**

Geophysics is called earth physics, and it aims to investigate the world we live on by using the basic principles of physics and to benefit from natural underground resources in accordance with these principles or to reveal structures that may be associated with ground-based natural disasters. In this context, it is a branch of science that models and reveals the natural resources or tectonic structures that have been the subject of research on earth in underground researches, based on physical problems. There are two types of study areas: geophysical research methods, above ground and underground. Geoscientists narrow down the field based on above-ground signs of any underground-related search. Then, the narrowed ground is examined with geophysical methods and the physical values of the material sought are found and its location is tried to be determined. Drilling, which is the last step for the accuracy of the ground, which is not seen above the ground but determined by physical values with geophysical methods, is done. Since the drilling to be done is very laborious and expensive, it is tried to get all the information about the underground that has been drilled to the maximum extent. The acquisition of this information starts with the geophysical well log measure, which gives us the physical properties of the cut formations as soon as the well is finished. Continues with the evaluations of the cores taken while drilling. In this study, the relationships between the underground investigation in geophysics, that is, the geophysical well log measurement values taken from the borehole and the laboratory values of the core sample obtained by drilling, will be examined. This relationship is extremely important for us researchers as it is directly related to the formations cut in the well and the ores cut in the well and their thickness. The perusal will be made by making use of the traditional and flexible calculation methods that are frequently used today. Geophysical gamma ray (JGR), which is our geophysical measurement values obtained in drilling and laboratory uranium (LU) values obtained from core samples taken from ore levels cut while drilling with geophysical uranium (JU) will be processed. However, due to the negativities that may occur during drilling (in case of negativity that will occur in the core purchase or when there is no core purchase).

The number of wells drilled in the study area by the General Directorate of Mineral Research and Exploration, and the number of wells we have obtained permission to use in our thesis, is 290. Among the wells whose data we obtained permission to use, 130 wells with the data we used in our study were determined. While making the drilling selection, features such as the parameters (geophysical measurements and laboratory results) we used in the drilling data and the fact that ore was cut during the drilling were taken into account. 466 data sets were obtained from 130 boreholes from

466 levels. This data set is a triple data set consisting of the geophysical gamma ray and geophysical uranium numerical values obtained from the geophysical measure obtained from the drilling and the Uranium numerical values obtained in the laboratory environment. Since today's researchers accept the laboratory results of the core samples obtained by drilling as the final result, laboratory uranium values are accepted as output, that is, the geophysical gamma ray and geophysical uranium numerical values obtained in the geophysical scale are taken as inputs. Out of 466 datasets obtained from geophysical well measurements and laboratory results, 335 datasets were randomly divided into two as 131 datasets of test data to control the results of training and training data. As a result of the combination of the obtained data with each other, 3 different groups were formed. By using the training data of the groups formed, the traditional method of linear regression analysis and flexible calculation methods Artificial Neural Networks (ANF) and Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) training processes were carried out. In order to evaluate the prediction performance of the models created in the training process, traditional (regression analysis) and flexible calculation methods (ANF and ANFIS) were applied to the same models using test data.

In the traditional method, 3 models were created using simple linear regression analysis. In flexible calculation methods, feed forward back propagation (IBGY) method in YSA and Levenberg-Marquardt (LM) learning algorithm in network training were used. In the hidden layer, a total of 30 ANN models were created, with the number of neurons (N) increasing from 2 to 20 in pairs. Triangular (tri), trapezoidal (trap), generalized bell shaped (gbell) and gaussian (gaussian) membership functions and membership function cluster number in ANFIS to examine the effect of membership function type (Membership Function, MF) and membership function cluster number on model performance. As a result, a total of 36 ANFIS models were created as 2,3,4, respectively. In the models created by using traditional and flexible calculation methods, laboratory values were estimated by using geophysical well log measure taken from drilling. In order to evaluate the efficiency of the model, coefficient of determination ( $R^2$ ) and Mean Squared Error (MSE) criteria were used. In the models created by using traditional and flexible calculation methods, geophysical well log taken from drilling is trained using numerical values, the estimation performances of the laboratory values were examined by passing the test phase. In order to evaluate the prediction performance efficiency of the models, an evaluation was made using the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the mean squared error (Mean Squared Error, MSE) criteria. The first criterion in forecast performance was the coefficient of certainty. If the coefficient of determination is equal, the estimation performance is tried to be made by considering the mean square error criterion.

The results of 69 models created for the study were examined one by one. Considering the results of the criteria used for estimation performance, the estimation performance of the regression analysis used in traditional methods is relatively low. It was observed that ANN and ANFIS had higher estimation performances than regression analysis. Among the flexible calculation methods, it has been observed that the ANFIS estimation performances are slightly better than the ANN method.

As a result, the estimation performances of the ANN and ANFIS methods, which will be applied to the measured values of the radioactive geophysical well log, have shown us that the results are close to the laboratory values.



## 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yeryüzünde çıplak gözle görünürhalde bulunabilecek maden çeşitliliği nispeten bittiği için araştırmacılar gömülü olan, yeryüzünde görünmeyen fakat jeolojik olarak belirti veren madenleri aramak ve bulmaya yönelmiştir. Bu arama yöntemi çok zahmetli, maliyetli ve yorucu bir iş olarak nitelendirilmektedir. Özellikle bu çalışmaya konu olacak olan uranyum cevherinin ülkemizde aranması, bulunması ve modellenmesi oldukça zahmet ve zaman isteyen bir maden olarak karşımıza çıkmaktadır. Uranyum araması yeryüzünde belirti veren jeolojik yapıların araştırılması incelenmesi ile başlayıp cevher oluşumu olabilecek yerler saptandıktan sonra yeraltı araştırmalarının bir ayağı olan sondaj aşamasına geçer. Sondaj aşaması maliyetli, zaman alan ve zahmetli bir iştir. Bu denli zahmetli ve pahalı bir işten biz araştırmacılar olabilecek en kabul edilebilir verileri almak için özen gösteririz. Bu verileri almanın ilk adımı sondaj yapılan yerden istenilen seviyelerde numune almaktır. Uranyum gibi değerli maden aramalarında sondajlar fiziksel olarak belirli bir geometrik şekle (silindir) sahip, sondajın belirli bir seviyesinde yada tamamında numune (karot) alınmaktadır. Sondaj bitiminde delme işleminin yapıldığı çelik ve demir karışımından yapılmış borular (takım) çekilmeden (borular çekilirse kuyu yıkılması veya formasyon şişmesi riski vardır.) ve sondaj çamuru kuyuda varken jeofizik kuyu logu ölçüsü alınır. Alınan ölçüye göre uranyum cevherinin olup olmadığına, varsa derinliği, damar kalınlığı ve sayısal değerleri ölçülür. Cevherli zon varsa, karotlardan belirlenen seviyelerden numune alınarak laboratuvara gönderilir. Bu aşamada alınan ölçü birebir kuyudan alındığından dolayı uranyum cevherinin varlığı belirlenir. Belirlenen cevherin sayısal değeri fiziksel koşullardan dolayı (takım dizini, kuyudaki çamur, çap genişlemesi vb.) ve cihazın kalibresinden dolayı değişebilir. Bu değişimleri ortadan kaldırmak için laboratuvara gönderilen numunelerin vereceği sonuçlara ihtiyaç duyulur. Uranyum cevheri sondaj yapılırken verilen çamur dâhil akışkanla temas geçtiğinde ufalanıp dağılabilen bir fiziksel yapıya sahiptir. Bu nedenle sondaj yapılırken dikkat edilmemişse karot erimesi, dolayısıyla numune kayıpları meydana gelecek ve laboratuvara gönderilen değerlerde de bir hata ihtimali ortaya çıkmaktadır.

Laboratuvar aşaması da uzun zaman alabilen bir çalışma olacağından saha hakkında karar vermekte uzayacaktır. Bu kayıplar ve zaman kaybından dolayı saha hakkında verilebilecek kararların süresi uzayacak ve çelişkide kalacaktır. Çalışmamızın amacı alınan ölçüye olumsuz etki eden koşulları eleyerek, laboratuvar sonucunu ölçü alındıktan sonra tahmin edip zamanı kısaltmak ve karot kaybından dolayı oluşabilecek hataların önüne geçmektir.

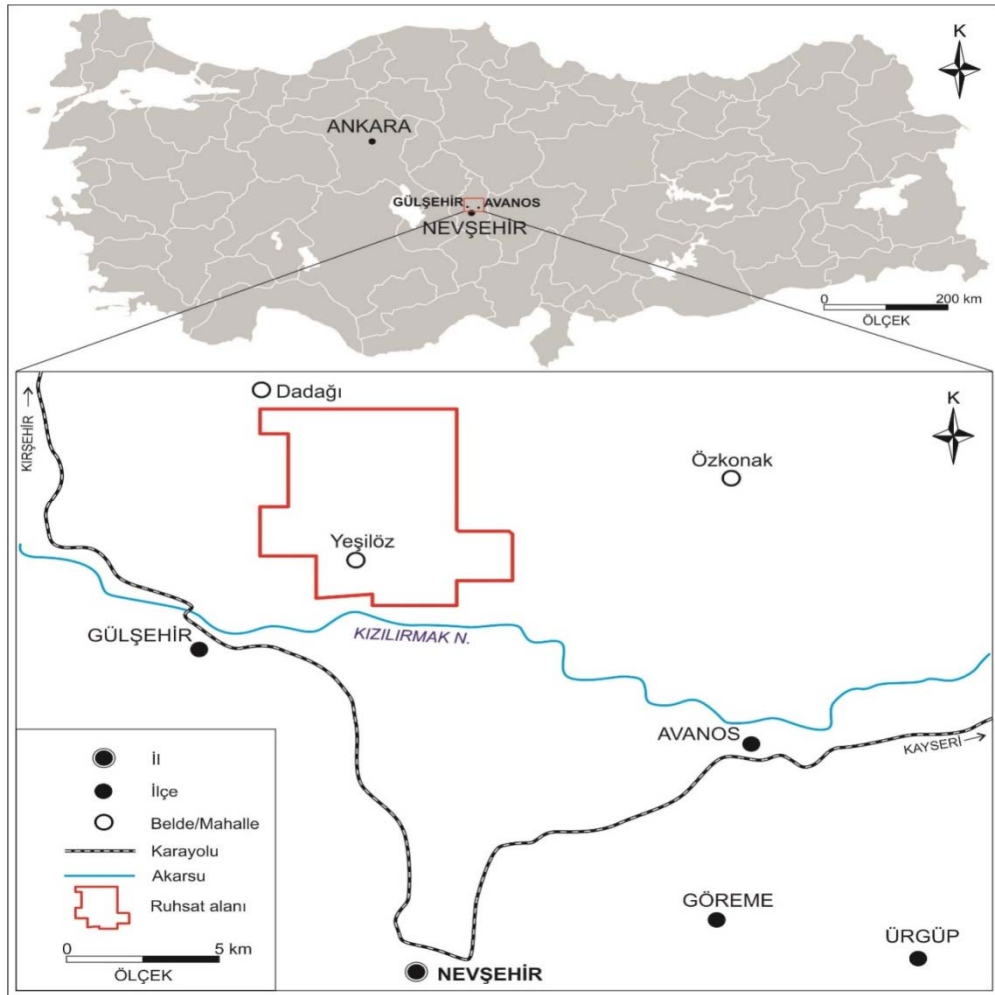
Günümüz araştırmacıları bilinenden bilinmeyi bulabilmek veya öngörmek için elindeki verileri dijital hale getirerek sayısal sonuçlara ulaşmaya odaklanmışlardır. Çalışmamıza konu olan sahada daha önce yazdığımız makalede regresyon analizi yardımıyla Radyoaktif jeofizik kuyu logu verileri ile sahada yapılan 34 kuyudan elde edilen rezerv verileri irdelenmiş ve aralarında ilişki incelenmiştir (Radyoaktif jeofizik kuyu logu verileri ve rezerv değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesi). Makaledeki çalışmamıza benzer sonuç odaklı bir çalışma geliştirmek sahada aranan cevhere yönelik bir inceleme olması adına bu çalışmayı şekillendirdik. Bu mantıkla yola çıkarak çalışma alanımızda yapılan 130 kuyudan elde edilen Jeofizik kuyu logu verileri ve laboratuvara gönderilen numunelerden elde edilen sonuçlardan oluşan 466 seri setin aralarındaki ilişkileri inceledik. Bunun için araştırmacıların sıklıkla kullandığı regresyon analizi, yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif neuro bulanık çıkarım sistemlerini (ANFİS) kullandık. Veriler arasındaki sebep sonuç ilişkisini ve kendi aralarındaki farklılığı ve bu veriler için izlenecek en doğru yolu ve yöntemi ortaya koyup çalışmaların daha verimli, daha sağlıklı ve ekonomik olmaları için çalışmalara yön vermeye çalıştık.

### **1.1. Çalışma Alanı ve Veri Toplama**

Nevşehir ili Gülşehir ilçesinin kuzeydoğusunda bulunan çalışma sahası yaklaşık olarak 4.916,01 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Çalışma sahasında temel kayaçlarını, Premesozoyik yaşlı fillat, şist, kalkşist ve mermer araldanmasından oluşan Tamadağ Formasyonu ile bunların üzerine gelen ve mermerlerden oluşan Bozçaldağ Formasyonu oluşturmaktadır. Bu birimler üzerine gelen Paleosen yaşlı Karadağ graniti; granit porfir, kuvarslı porfir, granodiyorit, granodiyorit porfir, kuvarslı diyorit, kuvarslı diyorit-porfir, gabro, monzonit-porfir, mikrogranodiyorit-porfir,

lökogranit, siyenit-porfir, riyodasit ve silisli kayalardan oluşmuştur. Kıyı akarsu ve göl çökellerinden oluşan Ayhan Formasyonu Lütasiyen öncesi yaşlı olarak kabul edilir. Altteki birimlerle uyumsuzdur. Ayhan Formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen Oligosen yaşlı Kızılöz Formasyonu; çakıltası, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşından oluşur ve örgülü akarsu çökelleridir. Bunların üzerinde göl ortamı çökellerinden oluşan Üst Miyosen Pliyosen yaşlı Yüksekli Formasyonu yer almaktadır (Karaca, 2019).

Saha 2011 yılında MTA tarafından jeolojik etüdü yapılmıştır. 2012-2019 yılları arasında toplamda 50.000 metre olan 290 adet sondaj gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma alanını gösterir yer bul haritası (Karaca, MTA, 2019).

Yapılan sondajların tamamı karotlu sondajlardır. Karotlu sondajlarda amaç kesilen formasyonları, formasyonların ayırım yerlerini belirlemek ve hedeflenen cevherli zonu numunelendirmektir. Bu amaçla yapılan sondajlardan belirli bir çapta kuyunun başından belirlenen metreye kadar eksiksiz silindirik bir numune alınır. Günümüz şartlarında yapılan karotlu sondajlarda çoğu zaman karot verimi istenilen miktarda olamamaktadır. Özellikle farklı zeminlere geçişlerde, tutturulmamış veya az tutturulmuş zeminlerde, ezik ve altere olmuş zonlarda karot verimi düşmektedir veya karot alınamamaktadır. Bu gibi olumsuz durumlar özellikle akışkan ile eriyebilen uranyum aramacılığında çok sık karşılaşılan en büyük sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan uranyum sondajlarının bitiminde jeofizik kuyu logu (SGR) ölçüsü alınarak formasyonların farklılığına, altere zonlara, ezik zonlara ve cevherin kesilip kesilmediğine bakılır. Ölçü incelenerek karotlar kontrol edilir, karot diziliminin ve karot kayıplarının olup olmadığına karar verilir. Kesilen bir cevher varsa, seviyesi ve sayısal değeri jeofizik kuyu logu ölçüsünde belirlenir. Belirlenen bu seviye ve seviyeler yüzeyde radyasyon ışımasını belirleyebilen spektrometre cihazı yardımı ile sondajdan alınan karot üzerinden gezdirilerek belirlenir. Karotlar da belirlenen cevher seviyesi kuyu içinde alınan jeofizik kuyu logu (SGR) ölçüsüyle karşılaştırılarak seviye hatası veya karot kaybının olup olmadığı teyit edilir. Bu işlemler bittikten sonra cevher kesilen seviyelerden numune alınarak uranyumum ppm (part per million) cinsinden belirlenmesi için laboratuvara gönderilir. Laboratuvar süreci ne yazıkki bu kadar hızlı olmayıp çok uzun sürmesi (bazen aylar sürebiliyor) ve karotların doğru gönderilip gönderilmemesi gibi olumsuzluklar projenin gidişatı veya yönelimi hakkında bir karar verme aşamasını sıkıntıya sokmaktadır.

Uranyum değeri olarak ppm dediğimiz bir birim kullanırız. Bu birim ölçülerek cevherin miktarı ve şiddeti ölçülür. Rezerv hesabı yapılırken de bu birim kullanılmaktadır. Cevherli zonlarda nicel olarak değer verebilen jeofizik sistemlerinde doğruya daha yakın veriler için kalibrelerine dikkat edilmesi, mümkünse sistemin değişmemesi ve kuyulardaki fiziksel parametrelerin (çamur cinsi, çamur yoğunluğu, delmek için kullanılan takım çapı ve bileşeni, kuyu çapının genişliği vb.) değişmemesi gerekmektedir. Bu sayılan parametrelerin stabil olduğu durumlar eldeki imkânlar ışığında bazen çok zorlaşmakta bazen de imkânsız hala gelmektedir. Çalışma alanımız

yaklaşık olarak 2011 yılında başlamış hala devam ettiği için bu parametrelerin değişmemesini imkânsız hale getiriyor. Bu süre zarfında jeofizik olarak birçok farklı prop (jeofizik ölçü aleti) ve sistem kullanılmıştır. Aynı zamanda sondaja bağlı olarak da ölçüye etki edebilecek birçok parametrenin değiştiği göz önünde bulunmaktadır. Saydığımız bu olumsuzluklar olmasaydı jeofizik ölçüde kullanılan proplar laboratuvar değerleriyle kalibre edilerek yapılacak sondajlarda cevherli zonların ppm değeri laboratuvara gerek kalmadan ekonomik ve daha hızlı verebilirdi. Üstte sayılan olumsuz ve sürekli karşılaşılan sorunlardan dolayı bu nicel verinin verilmesi ve düzeltilmeden kullanılması hatayı beraberinde getirebilmektedir.

Bu çalışmada alınan jeofizik veri ve alınan numunelerden laboratuvar ortamında belirlenen veriler arasındaki ilişkiyi veya ilişkileri geleneksel ve esnek hesaplama yöntemleri kullanarak ortaya koymak, ortaya konulan bu ilişkiye bağlı kalarak jeofizik verilerinden kuyu bitiminde doğru veri olarak kabul ettiğimiz laboratuvar verisini tahmin edilmesini sağlamaktır. Bu sayede laboratuvar aşamasında kaybedilen zamanı en aza indirmek, karot kaybından dolayı laboratuvar verilerinin bile sağlıklı ölçemediği veriyi elde etmek ve uranyumun nicel varlığını sağlıklı bir şekilde hesaplanmasına yardımcı olmaktır. Sahada MTA ekipleri 2019 yılına kadar raporlayabildikleri toplamda 290 kuyu üzerinden 130 kuyunun jeofizik ve laboratuvar verileri kullanılarak 460 veri işleme alınmıştır. Alınan bu 130 kuyunun sahayı temsil etmesi, istenilen verilerin bünyesinde barındırması ve ölçü alınırken bir hata olmamasına dikkat edilip edilmemesine bağlı olarak seçilmiştir. Alınan bu verilere geleneksel yöntemlerde, doğrusal regresyon analizi kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Esnek hesaplama yöntemlerinde en sık kullanılan yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFİS) uygulanarak eğitim ve test işlemleri yapılmıştır. YSA modelinde ileri beslemeli geri yayımlı (İBGY, Feed Forward Backpropagation) yaklaşım kullanıldı. YSA'da nöron 2'den başlayarak 20'ye kadar ikişer artacak şekilde modellenip en uygun nöron sayısına sahip model ortaya çıkarılmıştır. ANFİS de üyelik fonksiyonu olarak triangular (tri), trapezoidal (trap) ve generalized bell shaped (gbell) uygulanıp, üyelik fonksiyonu küme sayısı olarak 2, 3 ve 4 kullanılarak ANFİS modelleri oluşturulup eğitim ve test işlemleri uygulanarak en iyi tahmin veren üyelik fonksiyonu tipi ve küme sayısı belirlenmiştir. Uygulanan

analizler sonucunda elde edilen belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama karesel hata (MSE) değerlerine göre en iyi tahmin performansı gösteren model ve yöntemler belirlenmiştir.

## 1.2. nceki alışmalar

### 1.2.1. Yapay zeka alışmaları

Yapay zekanın tarihine bakıldığında ilk ıkışı Yunan mitolojisine yani binlerce yıl önce yaşıyanlar tarafından rüzgar tanrısı olduğu sanılan Daedalus'un "yapay-insan" girişimi olarak görülebilir. O tarihten itibaren kendi kendine düşünebilen karar verebilen yapay insan kopyası yapmanın adımları sürekli dşnlmş veya dşndrlmştir. Yapay zekânın insanlık tarafından en kabul edilebilir ilk ciddi çalışması 1943'te McCulloch ve Pitts'in beynin insan beyninin nasıl çalıştığını formülize ederek açıklamaya çalıştıkları "Beynin Boolean Devre Modeli" en önemli basamağı kabul edilir. 1948'li yıllarda yapay zekânın belli başlı matematik problemlerini çözebileceği ve satranç oynayabileceği düşüncesi ortaya atılmaya başlanmıştır. John McCarthy 1956 yılında "yapay zekâ" kavramını kullanmasına rağmen fazla bir gelişme kaydedemeyip sadece verilen komutları yerine getirmek gibi temel seviye işlemleri gerçekleştirmektedir. Bilgisayarların insan hayatına girmesi, bilgiyi saklayabilmesi vedaha yüksek hızlar yapay zekâ ile ilgili farklı çalışmaları yönelmesinin nn açmıştır. Newell ve Simon'un geliştirdiği "genel problem çözücü" ve Joseph Weizenbaum'un MIT laboratuvarlarında yaptığı ELİZA isimli doğal dil işleme programları örnek olarak verilebilir. Bilgisayarların gelişmesi ile birlikte özellikle 1980'lere gelindiğinde bilgisayarlar artık bilgi saklama ve işleme gibi özelliklere ek olarak bilgiler arası ilişki de kurabilme yeteneği sayesinde depolanan bilgiyi yeni deneyimlerde kullanma olarak tanımlanan "derin öğrenme" yöntemi yapay zekâya kazandırılmıştır. 1990'lı yıllarda yapay zekâya belli bir görev verilmediği halde mevcut örneklerden yola çıkarak öğrenebilme tekniği yani "ğrenme sistemleri" eklenmiştir. Bu yolla makine eğitilerek ezber değil de öğrenme yönlendirilmiştir. 1997'de IBM tarafından geliştirilen Deep Blue adlı satranç oynama programı dönemin dünya satranç Őampiyonu Gary Kasparov ile karşı karşıya gelmiş ve kalip gelmesi insanlar arasında heyecana neden olmuştur. 2001'de MIT, Kısmet olarak adlandırdığı,

insanın mimiklerini, sesini, ifadelerini, kafa hareketlerini taklit edebilen, toplumsal etkileşimlerle öğrenebilen bir robot geliştirmiştir (Arslan K. , 2020).

Zaman geçtikçe yapay zekâ çok farklı alanlarda kendine yer bularak, Siri Google asistan gibi ses asistanları, sürücüsüz araçlar, hastalıkları tespit eden sistemler, akıllı kameralarla yüz tanıma sistemleri, plaka tanıma sistemleri, sosyal medya kullanımlarında kişiyi tanıma ve öneride bulunma sistemleri, navigasyon sistemleri bu alanlarda insanların hayatlarını kolaylaştırıcı olarak akla ilk gelen uygulamalar olarak örnek verilebilmektedir. Yapay zekâ uygulamalarının günümüz uygulamalarına bakıldığında girmediği meslek dalı hemen hemen yok denecek kadar azdır. Yer bilimlerinde özellikle fiziksel parametrelerin ölçüldüğü jeofizik ölçümlerde bir çok çalışmanın olduğu görülebilmektedir. Bunlara kısaca değinirsek;

Essenreiter ve diğ. (2003), yapay sinir ağları tekniğini kullanarak deniz sismiyi verilerinde tekrarlı yansımaların belirlenebilmesini amaçlayan bir tekniği kullanmışlardır. Tutmez ve diğ. (2005), sinirsel-bulanık tekniği oluşturarak, yeraltı suyunun elektriksel iletkenlikten faydalanarak kalitesinin tahmin edilebilmesi için su içerisindeki pozitif iyon konsantrasyonunu hedef alan bir model geliştirmişlerdir. Bu model sayesinde yeraltı suyu örneklerini sınıflandırıp, jeofizik ölçümler ile tutarlı sonuçlar verdiğini sonuçlarında aktarmışlardır.

Oh ve Pradhan (2011), Malezya'da coğrafi bilgi sistemi verileri ile sinirsel bulanık mantık modeli oluşturarak heyelan duyarlılık haritaları üretmeye çalışmışlardır. Haritada heyelan konumları belirledikten sonra; sinirsel-bulanık mantık algoritmasında girdi verileri olarak yükseklik, şev eğimi, drenaja uzaklık, zemin yapısı gibi kaymada etkili parametreleri kullanmışlardır. Ortaya çıkan heyelan haritasının da %84 doğrulukta olduğunu, sinirsel-bulanık yaklaşımının heyelan konumlarını belirlemede ve haritalanmasında etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Akgün ve diğ. (2012), MATLAB tabanlı yazdıkları, MamLand ismini verdikleri yazılımı ile heyelan duyarlılığını Mamdani bulanık algoritmasını kullanarak tahmin etmeye çalıştıkları bir algoritma geliştirmişlerdir. Arel (2012), Adapazarı'nda CPT verisi kullanarak geri beslemeli yapay sinir ağları yöntemini ile karmaşık alüvyon sahalarda zeminin özelliğini belirlemeye çalışmıştır. Zemin sınıfı belirlemede kullanılan yapay sinir ağları ile yapılan tahmin başarısının %96 ve üzerinde olduğu sonucuna

ulaşmış.Park ve diğ. (2012), Kore'nin Samscheok ilinde sinirsel-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve coğrafi bilgi sistemini kullanarak, kömür sahalarında oluşabilecek oturma-çökme riski haritaları oluşturmuşlardır. ANFİS sistemini iki farklı üyelik fonksiyonu ile test etmiş ve sonuçları arazi çalışmaları ve bölgedeki mevcut zemin araştırmaları ile karşılaştırmışlardır. Kullanılabilecek bir ANFİS algoritmasının risk haritalarının oluşturulmasında etkin bir araç olabileceğini belirtmişlerdir.

### **1.2.2. Jeofizik kuyu logu çalışmaları**

Mennan (2019), Gaz sahasında alınan sismik yansıma ve kuyu logu verilerini kullanarak litoloji tayininde bulunmuştur. Aynı çalışmada kuyu logu verilerine yapay sinir ağı analizi yapılarak bulunan litoloji bilgisini sismik verilere işleyip bölgedeki olası gaz içeren prospekt kumtaşı seviyelerini tespit etme bilgisini vermiştir.

Karaman (2017), Kömür sahasında yapılan sondajlardan alınan jeofizik kuyu log verilerine yapay sinir ağı ve ANFİS teknikleri kullanılarak kuyulardan kesilen kömür tabakalarının bu tekniklerle belirlenmesi hedeflenmiştir.

Tonn (2002), “Neural network seismic reservoir characterization in a heavy oil reservoir“, çalışmasında Sismik ve kuyu logu verilerinde ve ikisi eşleştirilirken hangi yöntemle yapay sinir ağlarının kullanılacağını konu alıp bilgi vermiştir.Akgül (2018), “Radyoaktif jeofizik kuyu logu verileri ve rezerv değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesi“ başlık makalesinde radyoaktif kuyu logu verileri ile kuyudan alınan karot numunelerinin laboratuvar değerleri incelenerek basit ve çoklu regresyon analizlerine tabi tutularak aralarındaki ilişkiler hakkında bilgi vermiştir.

Eyisüren (2018), “Jeofizik kuyu logları parametrelerinin değerlendirilmesinde bulanık mantık yaklaşımı“ başlıklı tezinde bulanık mantık tekniğini jeofizik kuyu logu verilerine uygulayarak litoloji belirlemede bilgisini vermiştir.Fung ve diğ. (1997), açılan kuyularda alınan jeofizik kuyu logu ölçülerinden petrofizik parametrelerinin belirlenebilmesini tahmin edebilmeyi amaçlayan ve kendi bulanık kurallarını üreten bir çıkarım sistemi oluşturmuşlardır.



Huang ve diğ. (1999), bulanık sistem kullanarak Kuzey Batı Avustralya Şelfinde geçirimsizliğin kuyu logu verilerinden tahmin edilebilmesi için ara değer hesaplayan bir teknik geliştirmiştir. Aynı sistem petrol içeren formasyonların ve geçirimsizliklerinin kuyu loglarından belirlenmesi için Kuzey Denizi'nin güney kısmında denenmiştir (Cuddy,2000).

Kamali ve Mirshady (2004), jeofizik kuyu logu ölçü verilerini kullanarak toplam organik karbon içeriğinin belirlenebilmesi amacıyla Delta LogR ve sinirsel-bulanık yöntemlerini ayrı ayrı kullanmışlardır. Nötron-özdirenç, yoğunluk-özdirenç ve sonik-özdirenç log çiftlerini eşleştirip karşılaştırmışlardır. Bu yolla organik karbon miktarını belirlemeye yönelik bir yöntem olan Delta LogR yöntemi ile yapay sinir ağları ve bulanık mantığın birlikte kullanımı olan sinirsel-bulanık yaklaşımı ayrı ayrı test etmişlerdir. Sonuç olarak toplam organik karbon miktarını belirlemede sinirsel-bulanık mantığın hata oranının daha düşük olduğunu göstermişlerdir.

Hsieh ve diğ. (2005), Tayvan'ın Shui-Lin bölgesinde bulanık mantık tekniğini jeofizik kuyu logu verilerini kullanarak açılan akışkan kuyularında akifer özelliği gösteren seviyelerin tane boyuna bağlı litoloji sınıflandırması yapmaya çalışıp, sonuçları karot analizleri ile karşılaştırmışlardır. GR, özdirenç ve sonik log ölçü verilerini kullanarak 3 girdi parametresi, 5 sözel değişken, 12 kuraldan oluşan ve kil, silt, kötü derecelenmiş kum, orta derecelenmiş kum ve iyi derecelenmiş kum olmak üzere 5 çıktı parametresinden oluşan bulanık çıkarım modeli ortaya çıkarmışlardır. Sonuç olarak litoloji tahmininde %90 başarı gösterdiğini ancak siltli birimlerin belirlenmesinde ve kumların boyutuna göre derecelenmesinde zorlukların yaşandığını belirtmişlerdir. Rolon ve diğ. (2009), Yapay sinir ağlarını kullanarak sentetik kuyu logu verilerini üretmeyi amaçlamışlardır. GR, yoğunluk, nötron ve özdirenç loglarından birini çıktı, diğer 3 logu öğrenme verisi olacak şekilde 3 farklı kombinasyon yaparak yapay veriyi oluşturmaya çalışmışlardır.

Bosch ve diğ. (2013), Almanya'da KTB projesi kapsamında açılan kuyularda alınan jeofizik ölçüm verilerine bulanık mantık tekniğini kullanarak litolojinin tahmini yapılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla MATLAB yazılımı geliştirilmiştir. Asfahani ve diğ. (2015), Suriye'nin güney kesiminde yer alan kuyularda alınan radyoaktif ve özdirenç

jeofizik kuyu log verilerini oluşturdukları bulanık mantık algoritması yardımı ile bazalt yapıları belirlemeye çalışmışlardır.

## **2. MATERYALLER VE KULLANILAN YÖNTEMLER**

### **2.1. Jeoloji**

#### **2.1.1. Bölgesel jeoloji**

Çalışma sahası içerisinde yer alan Kapadokya volkanik kompleksi, farklı volkanik yapıları ve büyük hacimdeki piroklastik ve volkanoklastik ürünleri ile Anadolu'nun ortasında iyi korunmuş en ilginç volkanik komplekslerden biridir. Bölgede Tersiyer öncesi yüzeyleyen kayalar temel kayalar olarak düşünülür. Temel kayalar Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik kayalardan oluşur. Bu kayalar üstüne Üst Kretase yaşlı Orta Anadolu ofiyolitleri bindirir ve bütün bunları plütonik kayalar keser. Eosen dönemi denizel kireçtaşları ile karakterize edilir ve bu birim, Oligo-Miyosen yaşlı karasal kırıntılılar tarafından uyumsuz olarak üzerlenir (Göncüoğlu vd., 1991). Orta-Üst Miyosen'de başlamış ve Kuvaterner sürecinde devam etmiş yoğun karasal volkanizma ürünleri bütün bu birimleri örtmüştür (Şekil 2.1).

#### **2.1.2. Stratigrafi**

Çalışma bölgesi Kırşehir masifinin güneyinde bulunan, Eosen havzası içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanında adlandırılan formasyonlar Seymen (1981) ile Atabey ve diğ. (1989) çalışmalarından özetlenerek sunulmuştur.

##### **a. Kaman Grubu**

###### **- Tamadağ Formasyonu**

Seymen (1981) tarafından adlandırılan formasyonyoğun bir şekilde fillat, serisit-klorit şist, kalkşist ile orta-kalın tabakalı, gri-beyaz renkli mermer ardalanmasından oluşmuştur. Kayalarda biyotit, diyopsit, kalsit, amfibolit, muskovit, feldispatlar, zirkon, epidot, turmalin, granat, titanit ve kuvars minerallerine rastlanır. Çalışılan bölge Höyük Tepe ve Kuşyuvası mevki güneyinde, araştırma sahası çevresinde ise Civelek ve Alkan köylerinin kuzeyinde yüzeylenmektedir. Kalınlığı 400 metre olan

formasyon, yeşil şist, amfibolit-almandin fasiyesinde bölgesel metamorfizma geçirmiştir. Üzerine gelen Tersiyer birimleriyle arasındaki ilişki açılı uyumsuzdur.

- Bozçaldağ Formasyonu (Pmb)

Seymen (1981) tarafından adlandırılan formasyon gri-boz beyazımsı renkli, iri kristalli, şeker dokusunda, orta-kalın tabakalı ve masif mermerden oluşmaktadır. Kalınlığı 250 metre olan formasyon tabanda Tamadağ Formasyonu ile geçişlidir. Tamadağ ve Bozçaldağ Formasyonlarının yaşı Pre-Mesozoyik kabul edilmektedir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	GRUP	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA		
SENOZOYİK	KUVATERNER						Qal	Alüvyon			
							Qeal	Traverten			
							Qtr	Eski alüvyon			
							Qç	Kızılırmak Çakıltası; Çakıltası, kumtaşı			
	NEOJEN	MIYOSEN- PLIYOSEN	ÜST MIYOSEN- PLIYOSEN			ÜRĞÜP	Kavak	Tük	Beyaz ignimbrit ve lahar		
								Ty	Tüflü çakıl, kum, kumtaşı, çakıltası		
	PALEOJEN	OLİGOSEN				KIZILÖZ	Arafa	Tk	Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, anhidrit, marn		
								Tka	Kumtaşı, linyitli kiltası		
								Ta	Kumtaşı, kumlu marn, killi kireçtaşı, şeyl		
								Tab	Nümminitli killi kireçtaşı		
		EOSEN	LÜTESİYEN ÖNCESİ			AYHAN	ALTI PINAR	Boztepe	Tal	Çörtlü kireçtaşı, kumtaşı, marn, çakıltası	
									Tai	Çakıltası, kumtaşı, silttaşı	
Tak									Çörtlü kireçtaşı, bitümlü şeyl, kumtaşı		
Tae									Kumtaşı, kumlu marn		
AYHAN	LÜTESİYEN ÖNCESİ			AYHAN	ALTI PINAR	Boztepe	Tas	Çakıltası, çamurtaşı, silttaşı			
							Tas	Çakıltası, çamurtaşı, silttaşı			
MESO- ZOYİK	KRE- TASE	ÜST			ORTAKÖY GRANİTOYIDI		Kog	Granit, granodiyorit, siyenit, kuvars porfir			
PALEOZOYİK				KAMAN	TAMADAĞ	BOZÇALDAĞ	Pzb	Orta-kalın tabakalı, masif mermer			
							Pzt	Fillat, serisit, klorit şist, kalkşist, mermer			

Şekil 2.1. Çalışma alanı ve yakın civarının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (MTA, 1989).

## b. Ortaköy Granitoyidi

Granit, granit-porfir, kuvarslı porfir, granodiyorit, granodiyorit porfir, kuvarslı diyorit, kuvarslı diyorit-porfir, gabro, monzonit-porfir, mikrogranodiyorit-porfir, lökogradit, siyenit-porfir, riyodasit ve silisli kayalardan oluşmuştur.Çalışma alanında Keçiahlat Tepenin güneybatı yamacında, Gök Tepe ve Sülük Tepe'de yüzeylenmektedir.Ortaköy Granitoidi, Baranadağ Plütonuna karşılık gelmektedir (Seymen, 1981).Bölgede yüzeyleyen granitik kayalari; Seymen (1981) Paleosen, Ataman (1972) Üst Kretase, Niğde Masifinde Göncüoğlu (1985, 1986) Alt Senomaniyen yaşlı kabul etmişlerdir.

## c. Ayhan Formasyonu

Ayhan Formasyonu, Atabey ve diğ. (1988) tarafından adlandırılmıştır. Ayhan Formasyonu kıyı, akarsu ve göl çökellerinden oluşmaktadır. Formasyon içinde, Saytepe, Esefin, Kubaca, İlice ve Lalelik Üyeleri ayırtlanmıştır.Ayhan Formasyonu; stratigrafik ilişki ve litoloji özelliğine göre Lütésiyen öncesi yaşlı kabul edilmiştir. Fosil bulunamamasına karşın, Lütésiyen yaşlı Altıpınar Formasyonu altında yer almaktadır.

### - Saytepe Üyesi (Tas)

Kötü boylanmalı çakıl taşları ve çamurtaşları, Saytepe Üyesinin alt düzeylerinde izlenir. Orta boylanmalı teknesel ve düzlemsel çapraz tabakalı çakıltaşları, çakıllı kumtaşları, kaba taneli çakıltaşları ise üyenin diğer düzeylerini oluşturur. Alüvyon yelpazesi çökeli özelliklerini gösterir.Çalışma alanında, Yeşilöz Köyü kuzeyinde yer alan Reyhanlı Tepe ile Dadağı Köyü arasındaki 12 km<sup>2</sup>'lik alanda, ruhsat sahası çevresinde ise Ayhan Köyü güneyinde yüzeylenmektedir.Saytepe Üyesi, Tamadağ Formasyonu üzerine açılı uyumsuz olarak gelmektedir. Kalınlığı 500 metre olan formasyon, Esefin üyesi ile arasındaki dokanak uyumludur (Karaca 2019).

### - Esefin Üyesi (Tae)

Üye yer yer çapraz katmanlı kumtaşı ve laminalı silttaşından oluşmuştur. Kumtaşı tabakalarında sıçrama izleri ve fosil kalıpları görülür.Keçiahlat Tepe güneyinden başlayarak, yaklaşık 45°KB yönünde 250 m genişlikte ve 6 km uzunlukta bir alan içinde yüzeylenerek, Kubaca Tepe batısında son bulur. Birim, Saytepe Üyesi üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Üzerine ise Kubaca Üyesi uyumlu olarak yerleşmiştir. Reyhanlı Tepe batısında, Ortaköy granitoidinin Esefin Üyesi üzerine açılı

uyumsuzlukla geldiği gözlenmektedir. Birimin ortalama kalınlığı 30 m'dir. Litolojik özelliğine göre birim, kıyıovası göl kenarı düzlüğü fasiyesindedir. Çökeller alt alüvyon yelpazesinin ötesinde göle doğru uzanan taşkın düzlüğünde çökelmiştir (Karaca 2019).

#### - Kubaca Üyesi (Tak)

Orta-kalın tabakalı, silisli ve çörtlü kireçtaşı tabakaları ile başlayan Kubaca üyesinde kireçtaşı düzeyleri seyrelerek, laminalı kumtaşı, silttaşı, bitümlü şeyllere geçer. Kubaca Tepe ile Keçiahlat Tepe arasında, ortalama 500 m genişliğinde ve 5 km uzunluğundaki bir alanda ve Devabaşı Tepe ile Elma Dere arasında yüzeilenmektedir. Tabanda Efesin üyesi ile geçişlidir. Göl ortamında çökelmiştir. Kalınlığı 150 metredir (Karaca 2019).

#### - İlicek Üyesi (Tai)

Çakıltaşı ile başlayan İlicek üyesinin çakılları metamorfik ve mağmatik kayalardır. Çakıltaşı düzeyi orta-kalın tabakalı kumtaşlarına geçer. Üstte ise ince tabakalı ve yer yer laminalı kumtaşı, silttaşı düzeyleri yer alır. Gümüşyazı (Arafa) köyü ile Keçiahlat Tepe 200 m kuzeyi arasında Kuyulunun Tepe çevresinde yüzeilenmektedir. Kubaca üyesi üzerine uyumsuzlukla gelmektedir, Ruhsat sahası dışında İlicek-Hacıbektaş arasında Altıpınar Formasyonu ile düşey geçişlidir. Boztepe'de üzerine, Lütisiyen yaşlı Boztepe üyesi uyumlu olarak gelir. Menderesli nehir çökellerinden oluşmuştur. Ortalama kalınlığı 400 m kadardır (Karaca 2019).

#### - Lalelik Üyesi (Tal)

Kumtaşı, marn ve çörtlü kireçtaşından ibarettir. En iyi görüldüğü Lalelik Tepe mevkiine göre bu ad verilmiştir. Çalışma alanında Alıçlı Tepe ile Değirmen Tepe arasında, ruhsat sahası dışında ise Ayhan köyü güneyinde yüzeilenmektedir. Orta-kalın tabakalı bol çört içeren kireçtaşları, orta-ince tabakalı kumlu marn ve laminalı şeyllerden oluşmaktadır. Kireçtaşları 900m lik dik tabakalar, halinde km'lerce uzanmaktadır. Birim oldukça faylı ve kırıklıdır. Birim Saytepe konglomera üyesi üzerine uyumlu olarak gelmektedir. Muhtemelen gölsel bir birimdir. Menderesli ırmak havzasının gölsel transgresyonsonucunda göl havzası karakteri olması ile birlikte çökelmiştir. Lalelik Üyesinin ortalama kalınlığı 300 m kadardır (Karaca 2019).

#### d. Kızılöz Formasyonu (Tk)

Atabey ve diğerleri (1989) tarafından adlandırılmıştır. Birim kırmızı-şarabi renkli, teknesel çapraz katmanlı, kanal dolgulu, çakıltaşı, tabakalı kumtaşı, silttaşı ve

çamurtaşından oluşmaktadır. Kanal dolguları iri-orta taneli, kötü boylanmalı, orta-iyi yuvarlaklaşmış karbonat çimentoludur. Kırmızı-şarabi renginden dolayı yörede kolayca ayırt edilebilmektedir. Konglomera bileşeni, mermer, kuvarsit, şist, fosilli Lütésiyen yaşlı killi kireçtaşı, latit, granit, granodiyorit, kumtaşı ve volkanik çakıllardan oluşmaktadır. Kızıl Tepe ve Kum Tepe’de yüzeylenmektedir. Eosen yaşlı Ayhan Formasyonu ile ilişkisi uyumsuz ve faylıdır. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Yüksekli Formasyonu Kızılöz Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelir. Irmak ve alüvyon yelpazesi çökelleridir. Formasyon tane boyutu tabandan, tavana doğru irileşme izlenir. Alt düzeylerde örgülü akarsu ve yaygı akması çökelleri izlenirken, üstlerde moloz akması dolguları egemendir. Birimin ortalama kalınlığı 800 m kadardır (Karaca 2019).

#### - Arafa Üyesi (Tka)

Genel olarak linyit, marn ve kumtaşından oluşmaktadır. Birim orta-kalın tabakalı, sarımsı renkli, kuvars taneli, orta-ince kum tane boyutlu kumtaşları ara tabakalı, linyitli marn ve kilttaşlarından oluşur. Linyitli marn ve kumtaşları, üstlere doğru gri renkli ve çakıllı, kumtaşına geçmektedir. Altta daha ince taneli, üstte ise kaba taneli kumtaşı geçişi izlenir. Üst seviyelerde kumtaşı çakıllı ve yer yer çakıltaşı izlenir. Gri kumtaşlı seviye çapraz ve paralel katmanlıdır. Alanda yüzeylendiği yerler Beşik Tepe güney batısı ve sahası çevresinde ise Alemlî-Dadağı ve Arafa köyleri çevresindedir. Taşkın düzlüğü ve bataklık çökelleri: Linyetler taşkın düzlüğündeki bataklıkta oluşmuştur. Marnlar süspansiyon halinde, kumtaşları ise akıntı etkinliği ile oluşmuştur. Üstte yer alan gri kumtaşları, alttan üste doğru enerji koşullarının arttığına işarettir. Alt düzeyler ise ince taşkın ovası çökellerine sahipken, üstte örgülü ırmak tipi çökel izlenir (Karaca 2019).

#### e. Yüksekli Formasyonu (Ty)

Çakıltaşı, çapraz tabakalı kumtaşı, miltaşı, tuf ve kumlu tufitten ibarettir. Beyaz-gri renkli, orta-ince kum tane boyutlu, teknesel çapraz tabakalı kumtaşı, çakıllı kumlu tufitler, miltaşı, kilttaşı ile kaba kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşmaktadır. Yüksekli Formasyonu çalışma alanınında, Kızılöz güney ve güneybatısında, Gedikli Tepe’de, çalışma alanı dışında ise Yeni Yaylacık ve Civelek köyü güneyinde yüzeylenmektedir. Tamadağ ve Bozçaldağ Formasyonları ile açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Birimin ortalama kalınlığı 250 m’dir. Birim, akarsu ve göl ortamında oluşmuştur. Çapraz

tabakalı, çakıldaşı, kumtaşı ve silttaşları akarsu; marn, kilttaşları ve ince tabakalı kireçtaşları ise görsel bir fasiyesi belirtmektedir. Yüksekli Formasyonu tuf üyesi tedrici geçişlidir. Stratigrafik ilişkiye dayanarak birimin yaşı Üst Miyosen sonrası, Pliyosen yaşı olarak kabul edilmektedir (Karaca 2019).

#### f. Ürgüp Formasyonu

##### - Kavak Üyesi (Tük)

Kavak Üyesi, ignimbrit karakterlidir. Açık kahverengi, beyazımsı renkli homojen ignimbrit, ankelit ve pomza içermektedir. Kavak üyesinde beyaz-kirli beyaz renkli, andezitik bileşenli, camsı tüfitli, köşeli parçacıklı pomza külü düzeyleri izlenmektedir. Çalışma alanında Çincikli Tepe'de yüzeylenmektedir. Üye, Ürgüp yöresindeki ilk ignimbrit çıkışlarını temsil eder ve birimin görsel ortamda çökelmiş olan bölümleri tüfitik özellikler taşımaktadır (Emre ve Güner, 1985). Birimin alt seviyeleri morfolojik düzensizlikleri doldurmuş olması nedeniyle yatay yönde süreksizdir. Üst seviyelerde yatay yönde devamlılık kazanır ve genelde yatay konumludur (Emre ve Güner, 1985). Genel olarak tabakalı bir görünüme sahip olup, üst kısımlar ignimbritlerden, alt kısımlar parçalı lahar çökellerinden oluşmaktadır (Karaca 2019).

##### g. Kızılırmak Çakıldaşı (Qç)

Çakıldaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Kızılırmak nehri boyunca kıyıda, eski nehir taraçalarını oluşturur. Çakıllar, kuvarsit, mermer, şist, sileksit, kireçtaşı, amfibolit, kumtaşı, pomza, volkanik kökenli v.b. türdendir. Çalışma alanına ve çevresinde Kızılırmak Nehri boyunca yüzeylenmektedir. Birim, Yüksekli Formasyonu üzerine açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Birimin üzerine, çalışma alanı dışarısında yüzeyleyen Kızıldağ ve Gülşehir Bazaltı gelmektedir. Ortalama kalınlığı 10 m'dir. Üzerinde yer alan bazaltlara göre, muhtemelen Pleistosen yaşlıdır (Karaca 2019).

##### h. Alüvyon (Qe, Qal)

Çalışma alanında genellikle Kızılırmak Nehri kıyısında ve dere kıyılarında alüvyon birikintileri gelişmiştir. Alüvyonlar, çakıl, kum, silt, kil ve gevşek topraktan oluşmaktadır. Günümüzde de oluşumu devam etmektedir (Karaca 2019).



### 2.1.3. Yapısal jeoloji

Saha Hersiniyen ve Alp orojenezleri etkisinde kalıp, tektonik hareketlerin sonucunda faylar ve kıvrımlar meydana gelmiştir. Faylar genellikle kuzeybatı-güneydoğu ve kuzey-güney yönünde gelişmiştir. En önemli fay Karaburç Fayıdır. Karaburç Fayı, Tamadağ Formasyonu ile Yüksekli Formasyonu arasında yer almaktadır. Yüksekli Formasyonu, Tamadağ Formasyonuna göre alçalmıştır. Fay 20 km uzunluğunda ve tahmini 350 m düşey atımlıdır. Civelek, Alkan, Eskiaylacık ve Gümüşkent bu fay üzerinde yer almaktadır. Gürleğen Dere boyunca, Tamadağ Formasyonu ile Saytepe Üyesi konglomeraları arasında, ortalama 500 m düşey atımlı 10 km uzunluğunda, 30°KB yönlü bir fay görülmektedir. Bu fay Civelek Köyünde, Karaburç Fayı ile birleşmektedir. Arafa linyitli kumtaşı, marn üyesi ile Altıpınar Formasyonu arasında doğu-batı yönlü 50 m düşey atımlı 12 km uzunluğunda bir fay yer almaktadır. Bu fay Ayhan Göleti kuzeyinde makas şeklini alarak kuzeybatı-güneydoğu yönlü bir diğer fayla kesişmektedir. Bu iki fayın etkisiyle Boztepe Üyesi çevre kayalara göre yükselmiş ve Boztepe Üyesi, İlicek Üyesi üzerine doğru biraz ilerlemiştir. Yine bu mevkiide Lalelik Üyesi çörtlü kireçtaşı tabakaları 90°'lik bir eğim kazanmışlardır. Alemlı-Arafa kömür ocaklarında, fayın etkisiyle kömür zonu atım ile kaybolmuştur. Fay her iki kömür ocağından da geçmektedir. Bir diğer belirgin fay ise, Keçiahlat Tepeden kuzey-güney yönünde uzanan, sol yönlü doğrultu atımlı faydır. Bu fay ile Saytepe, Kubaca ve İlicek Üyeleri ötelenmişlerdir. Akçataş Fayı doğu-batı yönlü 3 km uzunluğunda ve atımı 10 m kadardır. Granitlerin yerleşimi sırasında oluşmuştur. Lütesiyen sonrası tektonik etkinlik nedeniyle, Altıpınar Formasyonunu oluşturan kaya birimlerinin tabakaları değişik yönlere doğru eğim kazanmıştır. Tabakalar eğilmiş, bükülmüş ve kırılmışlardır. Boztepe Kireçtaşı Üyesi, daha plastik halde olan Altıpınar Formasyonu'na göre yükselerek, yörede tepelikler oluşturmuştur. Oligosen ve sonrası kaya birimlerinin tabaka eğimlerinde bir terslik görülmemektedir. Kızılöz Formasyonu, Hırka Dağı ile Yiren Dağı arasında büyük bir çökme havzası, senklinali oluşturmaktadır.

### 2.2. Jeofizik

Yerfiziği olarak tanımlıyabileceğimiz jeofizik, üzerinde yaşadığımız dünyamızı tanımamızda fiziğin temel ilkelerinden yararlanılarak, hidrosferi ve atmosferi de içerecek biçimde araştırılmasını konu edinen yer bilimleri dalıdır. Jeofizik yerin doğal

kaynaklarından yarar sağlamak, yeraltını tanımak ve yer kaynaklı afetlerle ilişkili problemlere çözüm bulmak için gelişmiştir.

Jeofizik bir doğa bilimi olarak, yerküre ve içinde bulunduğu uzayın fiziksel özellikleri ve fiziksel süreçleri ile bunların analizi için nicel yöntemlerin kullanımı ile ilişkilendirilebilir. Jeofiziğin katı Yerküre uygulamaları: Yerküre'nin biçimi, onun gravite ve manyetik alanı, iç yapısı ve bileşimi, dinamiği ve levha tektoniğinde bunların yüzeydeki dışavurumu, magmaların üretimi, volkanizma ve kayaç oluşumu olarak nitelendirebiliriz. Ancak jeofizik bilim dalı sadece katı yerküre araştırmaları yapmayıp daha geniş bir kullanım alanını içine alır; kar ve buzlu içerecek biçimde su döngüsü, atmosferin ve okyanusların akışkan dinamiği, iyonosferde ve manyetosferde elektrik ve manyetizma, Güneş-Yer ilişkileri, Ay ve diğer gezegenlerle ilişkili benzer problemlerin ve soruların cevaplarını içine alan bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır.

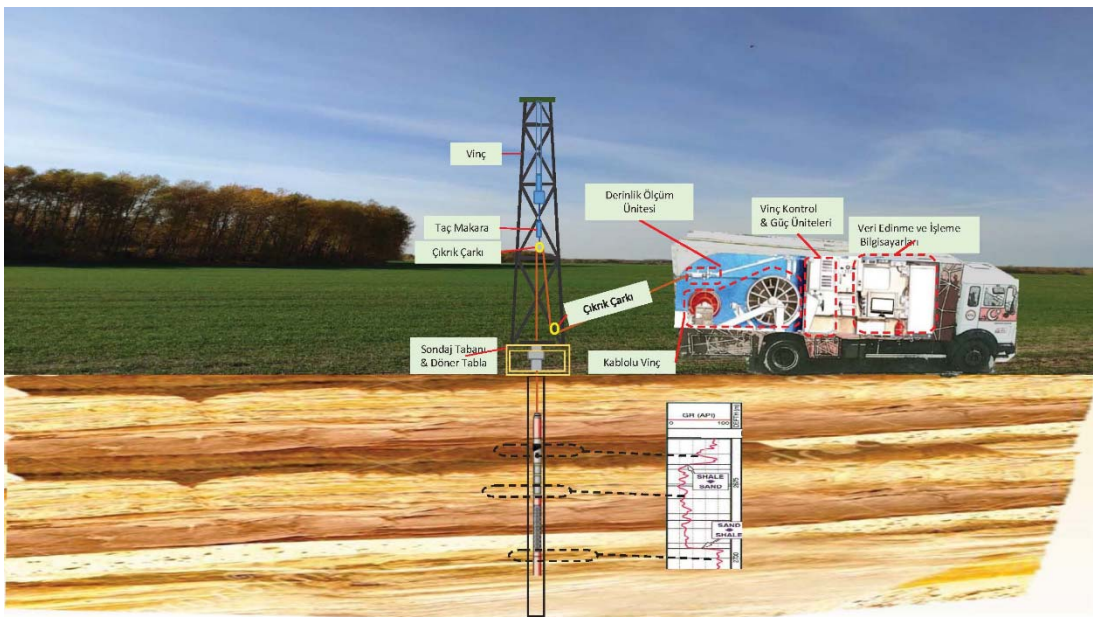
Jeofizik araştırmalarında kullanılan başlıca yöntemler;

- Gravite
- Manyetik
- Sismoloji
- Sismik
- Yer Radarı
- Elektrik
- Elektromanyetik
- Jeomanyetizma
- Paleomanyetizma
- Radyometrik ve jeotermik
- Kuyu logları
- Yüzey Nükleer Manyetik Rezonans (SNMR)

Çalışmamızda jeofizik araştırmalarından sondaj içi ölçü alınıp kuyu bazında yer altını inceleyen, araştıran ve bu konudaki yer bilimcilere bilgi akışı sağlayarak problemlerin cevaplanmasına yardımcı olan bir yöntemdir. Çalışmamıza konu olan sondajlardan alınan radyoaktif kuyu logu ölçümleridir.

### 2.2.1. Jeofizik kuyu logu

Yer altını araştırmak ve bilgi toplamak için açılan bir kuyudan veri toplamak ve bu verileri arşivlemenin en önemli yollarından biri jeofizik kuyu logları yöntemidir. Yapılan kuyuda, kesilen formasyonların fiziksel özelliklerinin (yoğunluk, yönü, kalınlık, geçirgenliği, eğimi, gözenekliği, suyla veya petrolle doygunluğu, dokusu, basıncı vb..) devamlı ve doğal koşullarında mekanik veya dijital kaydı jeofizik kuyu loglarıyla yapılır. Bu kayıtlar alınan log cihazının ölçü derinliğine göre kuyu cidarından 25-150 cm penetrasyon derinliği kaydı yapıldığından, değerlendirmede kuyudaki fiziksel birim farklılığının ortaya konmasını ve jeolojik yapıların bulunmasını daha sağlıklı hala getirmektedir. Jeolojik istifin hatasız bir şekilde yerli yerine konmasına ve kuyu esnasında oluşabilecek seviye kaybı veya karot kaybından doğabilecek birim kaybı bilgisini de en aza indirgemektedir. Bu kayıtlar günümüzde ilk alındığı gibi uygun dijital ortamda saklanma olanağı olduğundan dolayı ileriki kuşaklarda yapılabilecek saha çalışmasında ön bilgi olarak kullanılabilirliği bu yöntemi daha da önemli kılmıştır.



Şekil 2.2. Jeofizik kuyu logu alım şekline bir örnek.

Jeofizik biliminin yüzeyde uyguladığı hemen hemen tüm yöntem disiplinlerini içinde barındıran bir ölçü yöntemidir. Arazide ki alım şekli şekil 2.2. görsel olarak verilmiştir. Yöntemin uygulanabilmesi ve yüzeyde alınacak datayı görebilmemiz için bir bilgisayar ve kurulu log programı, bilgisayara bağlı ve alınan datayı kurulu olan programda

sayısal hala dönüşmesini sağlayacak bir yüzey modülü, yüzey modülüne bağlı bir vinç, vince sarılı, datanın akışını sağlayabilecek ve log cihazını kuyu tabanına sarkıtabilecek bir çelik halat, çelik halat ucunda da Jeofizik log cihazı yardımıyla kuyuya sarkıtılan cihaz, yüzey modüleriyle belirli bir hız da aşağı inerken ve yukarı çıkarken alınan fiziksel veri kayıtlarından oluşur. Modern log yöntemi ile alınabilecek ölçülerde, kuyularda doğal olarak ve devamlı tüm fiziksel ve kimyasal özelliğin ölçülmesini sağlamaktadır. Fiziksel ve kimyasal özelliklerini ölçebilen jeofizik kuyu log yöntemlerini;

-Resistivite Ölçümü

-Radyoaktif Gözeneklilik Ölçümü

-Akustik Ölçümü

-Doğal Olguların Ölçümleri

-Kuyu Çap Ölçümü

-Tabaka ve Eğim Yönünü Ölçümleri

Başlıklar adı altında sınıflandırabiliriz. Bu yöntemlerde amaca yönelik alınan ölçümlerde, yeraltı aramacılığı yapılırken açılan kuyularda radyoaktif elementler, maden, jeotermal, doğal gaz, petrol, nadir element, su, zemin p. lerinin belirlenmesi, jeolojik birimlerin tayini gibi araştırmalarda log çeşitliliği sayesinde fiziksel veriler alınıp sağlıklı tespit yapılmaktadır. Çalışmamızda kullandığımız fiziksel parametre radyoaktivite olduğundan dolayı bu çalışmada anlatacağımız jeofizik log çeşidi bu fiziksel parametreye tepki veren yöntem olan Doğal Olguların Ölçülmesi olacaktır.

### **2.2.1.1. Doğal olguların ölçülmesi**

Sondaj kuyusunda ölçü esnasında yere bir kaynak aracılığıyla herhangi bir sinyal vermeden yeraltından alabileceğimiz doğal olgular radyoaktif ışınım, iyon hareketliliği ve sıcaklıktır. Bu çalışmamızda kullandığımız doğal olgu radyoaktif ışınımıdır.

Yeraltında bulunan elementlerde az veya çok doğal olarak radyoaktif iyon hareketliliği meydana gelmektedir. Sondajda bu doğal verinin ölçülmesi kuyuda veya kuyular arasındaki farklılığı ve buna bağlı olarak korelasyonu, litoloji tayinini, formasyon şeykil hacminin bulunmasını, geçirimli ve tabakaların ayırt edilmesini sağlamaktadır.

Alınan kuyu ölçüsü kuyu bitiminde anlık ve doğru karar verme olanağını bizlere sunmaktadır. Toplam gama ışımalarını veya bazı elementlerden yayılan ışımaları ölçen aletler Gamma Ray aletleri olarak bilinir ve hemen hemen her kuyuda bu ölçü çeşidi alınmaya çalışılır.

#### **2.2.1.1.1. Natural gamma ray logu**

Yeraltındaki formasyonlar içlerindeki radyoaktif elementlerin miktarına bağlı olarak gama ışınması oluştururlar. Bu ışınmanın miktarının ölçülmesi 1940'lı yıllarda başlanmıştır. Borulanmış veya borulanmamış, boş veya çamurlu kuyularda çalışabilmesi, kuyular arası korelasyonda aranan bir ölçü olmasını sağlar. Natural Gamma Ray logu kısaca GR simgesiyle gösterilir. Şekil 2.3'te hangi formasyonlara nasıl bir tetki verdiğini gösteren teorik bir ölçü verilmiştir.

Doğada kararsız halde bulunan radyoaktif elementler kararlı hale gelmek için alfa ( $\alpha$ ) beta ( $\beta$ ) ve gama ( $\gamma$ ) ışınması yayarlar. Alfa beta ve gama ışınması yayan veya izotoplarını bulduran maddeler, radyoaktif maddeler olarak bilinir. Alfa ışınması helyum atom çekirdeği, beta ışınması elektrondan oluştuğlarından dolayı yayıldıkları elementten birkaç santimetreden öteye gidemez ve kuyu içinde herhangi bir jeofizik cihazlarıyla ölçülmeleri hayli zordur. Gama ışınları elektromanyetik dalgalar olup yayıldıkları ortama bağlı olarak yarım metreden daha fazla yol alabildikleri için jeofizik cihazlarla ölçülmeleri kolaylık sağlıyor (Yalçın Pekiner 2002).

Nadir element olarak da adlandırılan üç tane radyoaktif element gama ışınmasını yayarlar. Bunlar Uranyum, Toryum ve Potasyum elementleridir. Kararsız halde bulunan bu elementler radyoaktif olduklarından etraflarına sürekli ışınma (alfa, beta ve gama) yayarlar. Bu ışınma radyoaktif olmayan bir elemente dönüşene kadar devam eder (Yalçın Pekiner 2002).

Log ölçüsünü almak için kuyuya gönderilen GR aletinde bulunan dedektör kuyuda kesilen formasyonların kuyu içine gönderdiği gama ışınmasının miktarını alarak kaydeder. Gelen ışımalara yatay yönde 15-25 cm.'lik bir derinliğinden gelir. Daha derinden gelen ışınmalar ya çok zayıflar yada görünmezler. Gama ışınması demirden veya çelikten yayıldıkları için borulanmış veya borulanmamış kuyularda ölçü alınabilir. Demir veya çelik gama ışınması %30'unu soğurur bunu dikkate alarak ölçü alınır. Çimento, kullanılan çamurda ve kuyuda oluşabilecek bir çap genişlemesinde ışınmayı olumlu veya olumsuz etkileyecektir. Bu olumlu veya olumsuz etkilerin

bilinmesi için kuyu başında ölçüye başlanmadan kuyu hakkında tüm bilgileri almak ölçüden sonra yapılacak porecess aşamasını şekillendirip doğruya daha yakın değerler vermemizi sağlamaktadır.

Kuyularda Gama ışıması, Natural Gamma Ray aletinde bulunan detektörlerin kuyudan kesilen birimlerin doğal olarak yaydıkları ışınmayı okumasıyla ölçülür. Alette bulunan detektörün okuduğu gama ışınmalarının şiddetine bağlı olarak yer altında birim ve mineral ayırımına gidebilmekteyiz. Natural Gamma Ray aletlerinde bulunan detektörler iki tiptir:

- Geiger-Muller tipi detektörler

- Pırıldama tipi detektörler

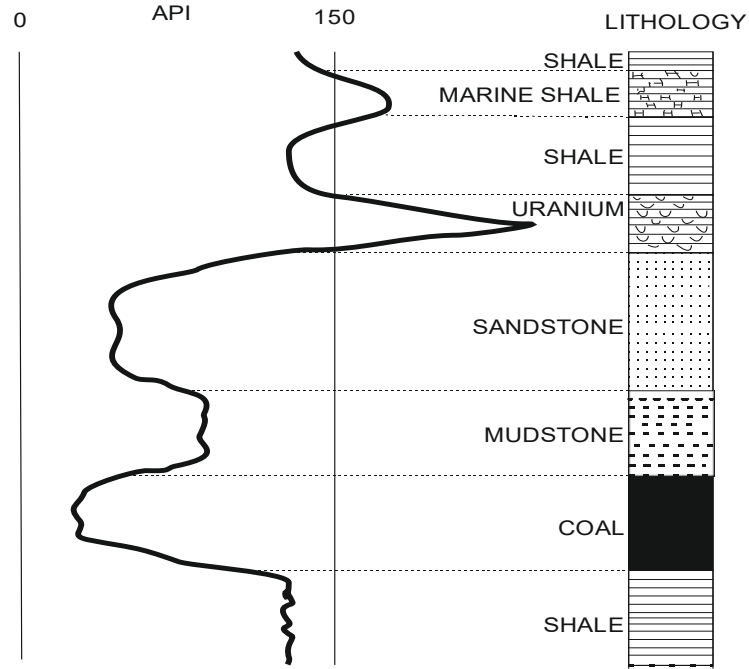
- Geiger-Mullerdedektörleri

Argon gazı ile doldurulmuş düşük basınçlı çelikten yapılmış bir odacıktan oluşur. Odacığın ortasında anot (+kutup) yüklü bir tel, duvarları ise katottan (-kutup) oluşan. Sistem çalıştığında anot ve Katot arasında 1000 Voltluk bir yüksek gerilim meydana gelir. Kuyu içinden detektöre gelen gama ışını ( $\gamma$ ), argon gazının atomlarındaki elektronları yörüngelerinden açığa çıkarır. Açığa çıkan (-) yüklü elektronlar anot yüklü tele doğru çekilirler. Gama ışınma şiddetine bağlı olarak anotta biriken elektronlar detektörde elektrik akımı doğururlar. Ortaya çıkan elektrik akımı alette dalga şeklinde sinyaller olarak okunur. Okunan bu sinyaller gama ışını miktarı belirler (Yalçın Pekiner 2002).

- Pırıldama dedektörü

Bir odacık olan detektörün altında NaI (sodyum iyodür) bileşeninden oluşan bir karışım üstte de foto çarpandüzeneginden oluşmaktadır. Kuyudan gelen gama ışını kristalden bir ışık (foton) açığa çıkarır. Ortaya çıkan bu ışık fotoçarpan içindeki ışığa duyarlı özel bir maddeyle kaplanmış metalik bir yüzeye (katot) çarparak metal üzerinde elektron açığa çıkarır. Kristalden çıkan her ışık aynı şekilde katot denilen metal levhadan bir demet elektron açığa çıkarır. Tek bir levhadan çıkan elektron miktarı ölçmek için az olduğundan dolayı, elektronlar ikinci bir katot yüzeylere çarptırılarak çoğaltılırlar. Çoğaltılan elektronlar, elektronik devreleri tetikleyerek elektriksel olarak bir değer alırlar. Elektriksel değer şiddeti gama ışınmasının şiddetine bağlı olarak değişkenlik kazanmaktadır. Hesaplanan bu değerler sayısal hale getirilerek ölçüyü oluşturmamıza olanak sağlamaktadır (Yalçın Pekiner 2002).

## GAMMA RAY



**Şekil 2.3.** Formasyonlarda gama ışınmasının verdiği tepki ve sayısal değer aralıkları örneği (Pekiner, 2002).

### 2.2.1.1.2. Natural gamma ray spectroscopy logu

Natural Gamma Ray aleti kuyudan gelen toplam gama ışınmasını ölçmek için alınan bir jeofizik ölçü çeşididir. Natural Gamma Ray Spectroscopy aleti kuyudan gelen toplam gama ışınmanın yanında gelen ışınların enerji seviyelerine göre ayırarak birimdeki potasyum (K), uranyum (U) ve toryum (Th) miktarlarını belirlememize olanak sunar (Yalçın Pekiner 2002).

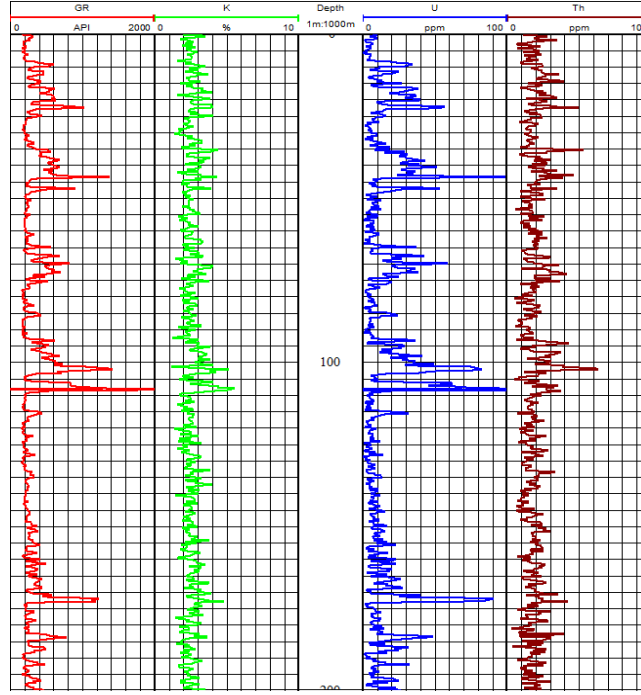
Potasyum, uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementler yaydıkları gama ışın enerjisi farklı seviyelerde olduğundan dolayı alette okuma ve belirlenme olanağı sağlanmaktadır. Natural Gamma Ray Spectroscopy aleti kesilen birimden gelen gama ışınlarını enerjilerine göre ayırarak, K, U ve Th elementlerini ve miktarlarını ortaya koyabilmektedir. Alet doğada radyoaktif halde bulunan Uranyum, Toryum ve Potasyum elementlerinin çekirdeklerinin bozulması sonucunda yayılan gama ışınmasını ölçer.

Radyoaktif ışınma, doğada kararsız halde bulunan elementlerin çekirdeklerinden etrafa alfa, beta ve gama ışınları saçarak gerçekleşmektedir. Saçılan bu ışınalarda alfa ve beta parçacıkları proton, nötron ve elektron olduklarından dolayı çekirdekteki parçacık sayısını değiştirir. Alfa parçacığı iki proton ve iki nötrondan, beta parçacığı bir proton

ve bir nötrondan oluşurlar. Gama ışınması atom altı parçacıkların etkileşiminden kaynaklanan, belirli bir titreşime sahip elektromıknatıssal ışınımdır. Bu ışınlar, atom çekirdeğinin enerji seviyelerindeki farklılıklardan meydana gelir. Çekirdek, bir radyoaktif bozunum yaptıktan(alfa ya da bir beta parçacığı çıkarttıktan sonra) veya bir nükleer reaksiyondan sonra genellikle kararlı bir durumda olmaz. Fazla kalan çekirdek enerjisi, ikinci bir bozunum sonucunda bir elektromanyetik radyasyon halinde yayımlanır(bir foton yayınlar). Böylece çekirdek, önce daha düşük enerji seviyesine ve sonunda taban enerji seviyesine düşer. Bu şekilde, çekirdeğin uyarılmış enerji seviyesinden temel enerji seviyesine düşerken yayınladığı fotonlara "gama ışını" denir (Yalçın Pekiner 2002).

Kuyuya sarktığımız Natural Gamma Ray Spectroscopy logu kuyudaki formasyonlardan gelen gama ışınlarının detektör yardımıyla enerji seviyelerini ölçerek bir ayırım yapar. Potasyum doğrudan argona dönüşürken yayınladığı gama ışınmasının enerjisi 1,46MeV olmasına karşınuranyum ve toryum ise doğrudan doğruya kurşuna dönüşmediklerinden dolayı 0-3MeVgama ışınması arasında değişen bir enerji düzeylerine olabilmektedirler. Budauranyum ve toryum serilerinde ise çeşitli ara elemanların yayınladığı, farklı enerjideki gama ışınları görülmesine sebep olmaktadır. Potasyum 1,46MeV'de belirgin olarak spetkrum vermektedir. Uranyum serisini simgeleyen en belirgin gama ışını, bizmutun yaydığı 1,76 MeV enerjideki gama ışınıdır. Toryum serisini de 2,62 MeV enerjiyle talyumdan gelen ışınlar olarak görmekteyiz (Yalçın Pekiner 2002).Natural Gamma Ray Spectroscopy cihazı gelen gama ışınlarının enerjilerine göre ayırarak, enerji spektrumlarını derinliğe göre kaydetmektedir. Bu spektrum sayesinde de radyoaktif elementlerin miktarlarını hesaplabilmektedir. Uranyum ve toryum log kağıdına ppm (parts per million) cinsinden potasyum ise yüzde (%) olarak çizdirilir. Ölçüde ayrıca toplam gama ışınması olan Gamma Ray ölçüsüde ölçülüp API (American Petroleum Institute) birim cinsindenverilmektedir (Yalçın Pekiner 2002).





**Şekil 2.4.** Sondaj kuyusundan alınmış Natural Gamma Ray Spectroscopy logu ölçüsü. (Düşey değişimler kuyu derinliğini, yatay değişimler ölçülerin scalasını gösterir.)

### 2.3. Yapay Zeka

Bilgisayarların, insanda bulunan doğal zekâya özgü olan, öğrenme, düşünme, algılama, birden çok kavramlar arasında bağ kurma, eylem karşısında akıl yürütme, sorunları algılayıp çözme, iletişim kurma, eylemlerde bir çıkarım yapıp karar verme gibi yüksek bilişsel fonksiyonları veya otonom davranışları sergilemesi için yapay olarak insan beynini taklit ederek öğrenmesine yapay zekâ denmektedir. En basit tabiriyle aldığı görevleri yerine getirmek için insan zekasını taklit eden topladıkları bilgilere göre yinelemeli olarak kendilerini iyileştirebilen sistemler veya makineler anlamına gelir. Genellikle yapay zeka olarak sınıflandırılan modern makine yetenekleri satranç ve stratejik oyun sistemlerinde, en üst düzeyde rekabet eden insan konuşmasını anlayarak ona göre pozisyon alma, akıllı arabalar ve askeri simülasyonlar kapsar.

Yapay zeka çalışmaları genellikle insan beyninin düşünme yetisini taklit eden yapay yöntemleri geliştirmeye yöneliktir. Öğrenebilen ve gelecekte insan zekâsından bağımsız gelişebilecek bir yapay zeka kavramına doğru yeni yönelimler oluşmaktadır. İnsan hayatını kolaylaştıracak, insanların giremediği veya olmak istemediği yerde

insan gibi düşünüp onun gibi karar verme yetisine sahip makinelerin ortaya çıkmasını düşünen ürünleridir. Bu düş, 1920’li yıllarda yazılan ve sonraları Isaac Asimov’u etkileyen modern bilimkurgu edebiyatının öncü yazarlarından Karel Capek’in eserlerinde dışa vurmuştur. Karel Capek, R.U.R adlı tiyatro oyununda yapay zekaya sahip robotlar ile insanlığın ortak toplumsal sorunlarını ele alarak 1920 yılında yapay zekanın insan aklından bağımsız gelişebileceğini öngörmüştür.

Yapay zekanın gelişimi modern bilgisayar bilimi ile başlıyor desek yerinde bir tespit olur. Bunu başlatıp insanların önüne koyan kişi “Makineler düşünebilir mi?” sorunsalını ortaya atarak makine zekasını tartışmaya açan Alan Mathison Turing’dir. 1923’te II. Dünya Savaşı sırasında Kripto analizi gereksinimleri ile üretilen elektromekanik cihazlar sayesinde bilgisayar bilimi ve yapay zeka kavramları doğmuştur.

Alan Turing, Nazilerin Enigma makinesinin şifre algoritmasını çözmeye çalışan matematikçilerin en ünlü olanlarından biriydi. İngiltere, Bletchley Park'ta şifre çözme amacı ile başlatılan çalışmalar, Turing'in prensiplerini oluşturduğu bilgisayar prototipleri olan Heath Robinson, Bombe Bilgisayarı ve Colossus Bilgisayarları, Boole cebirine dayanan veri işleme mantığı ile Makine Zekâsı kavramının oluşmasına sebep olmuştur.

Tarih içerisinde kendine bir sürü kullanım alanı bulan yapay zeka teknikleri günümüze geldiğinde geçerliliğini ve kabul edilebilirliğini ispatlayarak birçok kurum ve kuruluş tarafından sıklıkla baş vurulan ve finansal olarak desteklenen çalışmaların başında olmuştur. Çok büyük verilere sahip olduğumuz günümüzde yapay zeka olarak çok farklı alanlarda kendine yer bulmuştur. Bunların en başında elektronik sistemlerde kullanılan asistan sistemler, internette kullanılan kişiye özel reklamlar, hastalık teşhis ve reçete yazma, navigasyon uygulamaları, sürücüsüz araçlar, akılla görüntüleme ve görüntüyü analiz ederek yüz ve plaka tanıma sistemleri ve buna benzer akla gelebilecek hemen hemen her sektörde yapay zeka yöntemlerinden biri veya bir kaç kullanılmıştır. Bizde bu tezde yapılan sondajlardan alınan jeofizik kuyu logu ölçülerinden elde edilen Gamma Ray ve Uranyum değerlerini alarak geleneksel yöntemlerden doğrusal regresyon analizi ve esnek hesaplama yöntemlerinden YSA ve ANFİS’i kullanarak analizler gerçekleştirip karşılaştırma imkanı bulduk. Teze bağlı kalarak diğer yapay zeka yöntemlerini de ufak dokunuşlar yaparak kullandığımız yöntemleri kısaca açıklamaya çalışacağız.

### 2.3.1. Yapay zeka teknikleri

İnsanların bir mantık, içgüdü veya süre gelen bir alışkanlıkla düşünerek akıllıca yaptığı veya yapacağı hareketleri söylemleri veya eylemleri bir cihaz tarafından yapılmasına yapay zekâ olarak adlandırabiliriz. İnsan beyninin düşünme, öğrenme ve çalışma yöntemlerini modellemeye çalışan yöntemdir. Amaç insan zekâsını bir şekilde cihazlara benimsetmek ve bunun neticesinde cihazların insan gibi davranmasını karar vermesini ve uygulamasını sağlamaktır. Bu yolla insan hayatının daha kolay yaşanılır bilir bir düzeye getirmek amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda sıklıkla kullanılan yapay zeka teknikleri yapay sinir ağları, uzman sistemler, bulanık mantık, genetik algoritma ve destek vektör makineleridir.

Araştırmalar yapay zeka konularını aşağıdaki gruplar altında toplamışlardır.

- Bilgi tabanlı yapay zeka ve uzman sistemler
- Doğal diller (Bilgisayar ile doğrudan iletişim)
- Beşeri algılama yeteneklerinin simülasyonu (Görme, konuşma, işitme, koklama vs.)
- Robotikler (Rutin, kirli ve tehlikeli işler için kullanılan robotikler)
- Sinirsel ağlar
- Bulanık mantık
- Sanal gerçeklik

#### a. Uzman sistemler

Uzman sistemler, çalıştığımız bir alanda ele alınan konu ile alakalı uzman kişilerinön gördüğü yaklaşım şekliyle çözmeye odaklanan modellerdir. Uzman sistemleri kendi tabanında bulundurğu bilgi tabanı ve çıkarımlarla diğer tekniklerden farklılaşır. Sistem sürekli sorgulama yapmakla ileri ve geri zincirleme denilen yöntemleri aracılığıyla ifadeleri açıklayabilmektedir. Uzman sistemler C, C++, Pascal gibi geleneksel programlama dilleri ile geliştirilebilmektedirler. Geliştirilme aşamasında çalışılacak konu uzmanı ile bir bilgi mühendisinin ortak çalışması ile bir model ortaya çıkmaktadır. Uzman sistemler çalışınca hipotezleri test edip açıklayabilmekte, yeni öneriler öne sürebilmektedir. Günümüzde hastalık teşhislerinden tedaviye, planlamadan veri analizine, ara yüzlerden hata ayıklamaya birçok alanda kullanılmaktadırlar. Uzman sistemler, uzmanlığın yaygınlaşması, maliyetin

düşürülmesi, kaliteyi yükseltme, sorgulanabilme, öneride bulunma, güvenilirlik gibi birçok avantaj sağlamaktadırlar. Uzman sistemlerin sağladığı avantajların yanında, uzmanlık bilgisi eksikliği, bilgiye ulaşmanın zorluğu, konuya uzman kişilerin neden-sonuç ilişkisini sisteme adapte edememeleri, aynı konudaki fikir ve terminoloji farklılığı, kendini yenileyememe ve yüksek maliyetlerde dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır (Bilge, 2007).

#### b. Genetik algoritma

Biyolojik olarak kromozomların eşleşmesi, mutasyon ve doğa seçilim olaylarından yani biyolojik evrimin temel ilkelerinden esinlenerek en iyi sonucu ortaya çıkarmaya çalışılan bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Evrim teorisinde değişim rastgele bireylerden başlamakta ve nesilde ortaya çıkmaktadır. Her neslin en iyi bireyleri mevcut popülasyondan seçilir ve yeni popülasyonu oluşturmak için mutasyon ve kopyalama değiştirilirler. İlk aşamada başlangıç aşamasında yığın rastgele olarak oluşturulmaktadır. Her birey ikili düzen veya tamsayı ile kodlanmaktadır. Bireyler gösterdikleri performans doğrultusunda puanlanırlar. Yüksek puanlı bireylerin düşük puanlı bireylere göre seçilme olasılığı daha yüksektir. Yüksek puanlı seçilen bireyler kendi aralarında eşleşmek için çaprazlanırken, seçilemeyen bireyler ise elenerek sistem dışında kalır. Birey seçimi yapılırken birden çok farklı seçim operatörleri kullanılmakta ve bu operatörlerin farklı avantaj-dezavantajları özelliklerinden faydalanmaktadır. En iyi bireyin seçilmesi (doğal seçilim) gerçekleşmektedir. Sistemde seçilip kalan bireyler tekrardan rastgele bir şekilde çaprazlama yapılarak tekrardan eşleştirilmektedirler. Bu yolla en yüksek puanlı bireylere ait yapı taşları (iyi özellikler) çaprazlama yoluyla sistemde kalmakta ve sonraki nesillere aktarılmakla daha yüksek puanlı bireyler elde edilmektedir. Yığında çeşitliliğin sağlanması, çaprazlama aşamasında kaybolan iyi özelliklerin tekrardan kazanımı ve en iyiye ulaşabilmek amacıyla bireylere ait kodlar belli bir kural dahilinde mutasyona tabi tutulmaktadır. Bu aşamalar önceden belirlenen durdurma şartına ulaşıncaya dek devam etmektedir. Genetik algoritmalar sayesinde geleneksel yöntemler ile çözülemeyen birçok algorithmada çözüme kavuşabilmektedir (Çalışkan ve diğ., 2016).

#### c. Yapay sinir ağları

Bilgisayar sistemleri olarak tasarlanan yapay Sinir Ağları, insan beynine ait öğrenme, keşfetme, analiz, sınıflandırma, genelleme, ilişkilendirme gibi yeteneklerinden

esinlenerek bu yetenekleri yardımsız olarak gerçekleştirebilmek için oluştururlar. Çok fazla veri gerektiren bu işlemler olduğundan geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilebilme imkanı çok zor olan bu yetenekler için gelişmiş bilgi işlemeyle ilgilenen bilgisayar bilim dalıdır. İnsan beyninden esinlenerek geliştirilmesine karşın bazı özelliklerinin beyinde biyolojik açıdan karşılığı yoktur. İşleyişine bakıldığında insan beyniyle büyük benzerlik göstermektedirler. Yapay sinir ağı hücreleri biyolojik sinir sisteminde olduğu gibi, başka bir sinir hücresinden aldığı sinyalleri toplamakta ve belli bir eşik değerinde kendi sinyalini diğer sinir hücresine iletmektedir. Yapay sinir hücreleri girdi, ağırlık, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu olmak üzere 5 temel elemandan oluşmaktadır. Günümüzde birçok probleme başarılı şekilde çözümler üretebilmektedir (Ataseven, 2013; Yavuz ve Devenci, 2012).

#### d. Bulanık mantık

İnsan beyni yaklaşık ve belirsizlik içeren bilgi ile işlem yapma kabiliyetinin olması bilgisayarlarda kullanılan Aristo mantığından farklı olarak problemlere kullanılan bilgi ile işlem yapma kabiliyeti sunmaktadır. İnsan beyni belirsiz ifadeler ile düşünebilme kabiliyeti ile örtüşen bir sistem olması bulanık mantık algoritmasının temeli oluşturmuştur. Örnek vermek gerekirse soğuk-sıcak, sert-yumuşak, karanlık-aydınlık gibi sınırı belirli ve net olan bir dünyayı, az sert-çok yumuşak, az karanlık-çok aydınlık gibi yaklaşımlarla gerçek yaşama yaklaştırır. Bu gibi kesin ifade içermeyen belirsizlikler bulanık mantık sisteminin temelini oluşturmaktadır. Klasik kümelerde elemanın bir kümeye aitliği o kümenin karakteristik değeri  $\{0,1\}$  ile ifade edilirken, bulanık mantıkta elemanın kümeye aitliği  $[0,1]$  sürekli aralığında gösterilir. Bu aralıkta bulunan değerler üyelik derecesi adı almaktadırlar. Bulanık mantığa sözel ifadelerin modellenmesi olarak görülebilir. Sistemde yapılmak istenen, uzman görüşü de alınarak esnek, kesin olmayan verilerin, karmaşık ve olasılık durumlarının modellenmesini yapmaktır (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006; Ertuğrul, 2006).

#### e. Destek vektör makineleri

İstatiksel öğrenme algoritması, destek vektör makinelerinin modelini meydana getiren temel taşıdır. 1960'larda gelişimine başlamasına rağmen 1990'lı yıllarda asıl başarısını yakalamıştır. Vapnik ve Lerner tarafından geliştirilen genelleştirilmiş düşey algoritmalar çalışmaları sonucunda optimal hiper düzlem algoritması doğrusal sınıflandırma yapabilmektedir. DVM'nin günümüzdeki haline çok benzer hali 1992

yılında yapılmıştır. Cortes ve Vapnik tarafından geliştirilen esnek marjin sınıflandırıcı algoritması sonrasında regresyon problemleri için de kullanılmıştır. DVM'deki amacımızın kümeleri birbirinden ayırabilen optimum hiper düzlemi bulmak olduğu dile getirilebilir. Birçok hiper düzlem bulunmasına rağmen DVM, kümeler arasında ayrımı en başarılı şekilde yapan ve bu ayrım sınırlarının maksimum olduğu hiper düzlemi belirlemeye çalışan en önemli sistemlerdendir. DVM doğrusal olarak ayrıştıramadığı veri gruplarında probleme en uygun olacak çekirdek fonksiyonlarını kullanmaktadır (Tabak ve Atasoy, 2018).

### 2.3.2. Makine öğrenmeleri

Bilgisayarlarda karşılaştığımız problemleri çözerken algoritmalar ile soruna daha önceden tanımlanmış/öğrenilmiş çok fazla sayıdaki bilgiyi kullanarak problemleri çözmeyi amaçlayan yapay zekanın bir alt dalıdır. Algoritmalar verileri kullanarak modeller oluşturan ve bu modelleri gelecekte karşılaşacağı yeni problemleri çözmede kullanan yazılımlardır. Günümüzde makine öğrenmesi ve derin öğrenme terimleri çoğunlukla birbirlerinin yerine kullanılmakla birlikte, algoritmaların öğrenme şekliyle farklılaşmaktadırlar. Derin öğrenme, klasik veya “derin olmayan” makine öğrenmesindeki gibi öğrenmek için insan müdahalelerine bağlı değildir. Daha büyük veri kullanılan derin öğrenme İşleminin nitelik ayıklama kısmı büyük ölçüde otomatiktir ve insan müdahalesine ihtiyaç klasik makine öğrenmesine göre daha da azalmıştır. Makine öğrenme algoritmalarının öğrenme sistemi 3'e ayrılır (Arslan K., 2020):

1. Karar süreci: makine öğrenme algoritmaları sıklıkla sınıflandırma veya tahmin için uygulanmaktadır. Belli bir kalıp ile tahmin üretmek için etiketli veya etiketsiz giriş verilerine dayanarak oluşturulan bir algoritmadır.
2. Hata işlevi: Modelden çıkan tahmin sonuçlarını değerlendirmek için kullanılır. Modele yakın benzer örnekleri kullanılarak modeller arası karşılaştırma yapabilir.
3. Model Optimizasyon Süreci: Algoritmanın hata oranına bakarak tahmin sonuçlarını güncellemesidir, bu yolla oluşturulan yeni modelde hata oranı azalacaktır. Makine öğrenme algoritmasında giriş verilerinin doğruluğu ve veri miktarı modelin başarısını direk etkilemektedir. Verilerin fazlalığı ve doğruluğu modeldeki hata oranını azaltacağından istenilen başarı beraberinde getirecektir. Modelin temeline

bakıldığında denetimli ve denetimsiz sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Zaman içinde ihtiyaç dahilinde ek sınıflar ortaya atılmıştır. Bu sınıflara örnek olarak yarı-denetimli ve pekiştirmeli makine öğrenmesi modelleri söylenebilir (Metlek ve Kayaalp, 2020)

#### a. Denetimli öğrenme

Makine öğrenmesin de en çok kullanılan yöntem denetimli öğrenme olarak karşımıza çıkmaktadır. Veriler olarak kullandığı girdi-çıkı arasında kesin bir bağlantının olması gerekmektedir. Denetimli öğrenme yönteminde kullanılan tüm verilerin etikete sahip olması istenmektedir. Verilerin büyük bir kısmı modeli eğitmek, geri kalan verilerde test etmek amacıyla kullanılır. Bu şekilde üretilen verilerin gerçekten çıkması gereken veriler olup olmadığı denetlenir. Bu sebeple literatürde bu tip modele “Denetimli Öğrenme” modeli adı verilmektedir.

Girdi ve çıktı verileri arasında doğrusal bir ilişki fonksiyonunun olmamasından dolayı modelin geliştirilmesi amacıyla yöntemler geliştirilmektedir. Eğitilen veri grubunu tam anlamıyla temsil edebilen veri örnekleri ne kadar fazlalaşırsa sistem o kadar çok başarıyı yakalamaktadır.

Denetimli öğrenmenin özellikleri;

- Yöntem için verilen eğitim verisi seti girdi ve çıktı verileri olarak verilmek zorundadır.
- Yöntemi oluşturmak için eğitim verileri kullanılır ve veri seti hakkında bilgi verir.
- Model eğitildikten sonra sisteme daha önce girilmeyen giriş değerleri kullanılarak ona karşılık gelebilecek çıkış değerleri tahmin edilir.

Denetimli öğrenme yönteminde sınıflandırma ve regresyon uygulamaları kullanılmaktadır. Sınıflandırma uygulamalarına örnek olarak K-En yakın komşu, destek vektör makineleri, naive bayes, karar ağacı sınıflandırması, rastgele orman sınıflandırması verilebilir. Regresyon uygulamalarına ise tekli-çoklu lineer regresyon, lojistik regresyon, destek vektör regresyonu, karar ağacı regresyonu, rastgele ormanlar regresyonu, yapay sinir ağları örnek verilebilir (Metlek ve Kayaalp, 2020).

#### - Sınıflandırma

Veri setinin etiketlerini tahmin etmek için kullanılan makine öğrenmesi yöntemidir. Bilinen etikete sahip veri seti eğitim ve test verileri olarak ikiye bölünerek işlem başlar.

Model oluşturmak için eğitim verisi kullanılırken, test verisi ile modelin doğru çalışıp çalışmadığı kontrol edilmektedir. Oluşturulan bu model sayesinde sistemin farklı bir veri seti ile karşılaştığında veriye ait etiketi belirleyebilmektedir. Literatürde en çok kullanılan sınıflandırma algoritmaları; k-en yakın komşu, karar ağaçları, destek vektör makineleri, rastgele orman algoritmaları verilebilir (Alan ve Karabatak, 2020).

#### - Regresyon

Francis Galton İngiliz istatistikçi tarafından 19. Yüzyılda regresyon kavramı ortaya çıkarmış ve uygulamıştır. Regresyon kavramı bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler oluşup ikisi arasındaki ilişkinin fonksiyon olarak ortaya çıkmıştır. Bağımlı değişken (çıkıtı), bağımsız değişkenden etkilendiği kabul edilen değişkendir. Bağımsız değişken (girdi), bağımlı değişkeni etkilediği kabul edilen değişkendir. Regresyon analizinde bir bağımlı bir bağımsız değişken var ise basit regresyon, bir bağımlı değişken, birden çok bağımsız değişken var ise çoklu regresyon analizi, birden çok bağımlı değişken var ise çok değişkenli regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır. Değişkenler arasındaki ilişki doğrusal ise doğrusal regresyon; değilse doğrusal olmayan regresyon analizi olarak adlandırılmaktadır. En çok kullanılan regresyon yöntemlerine örnek olarak destek vektör makineleri, rastgele orman, k-NN regresyon yöntemleri verilebilir (Gök, 2017).

#### b. Denetimsiz öğrenme

Girdi ve çıktı verileri arasında bir ilişki yoksa bu tür öğrenme metoduna denetimsiz öğrenme metodu denilmektedir. Odak noktası veri olup, veri seti içinde gizlenmiş ilişkileri bulmayı ve kalıpları öğrenmeyi amaçlayan bir tekniktir. Model oluşturmaya girdi vektörü ile başlanmaktadır. Ağırlıklar değiştirilerek girdilere uygun olarak çıktılar verilmesi amaçlanır. Yöntem genel olarak görüntü işleme, işaret işleme ve kontrol problemlerinde kullanılmaktadır. Hiyerarşik kümeleme, K-Ortalama kümeleme, kendi kendini düzenleyen haritalar yaygın olarak kullanılan denetimsiz öğrenme yöntemlerine örnek olarak verilebilir (Çelik ve diğ. 2021).

#### - Kümeleme

Veri setindeki benzerlikleri veya ilişkili verileri gruplara ayırarak model oluşturmaya kümeleme adı verilmektedir. Uygulama sokulacak veri seti bağımlı-bağımsız değişken ayrımı yapılmadan tüm ilişkiler incelenir ve grup içi homojen gruplar arası ilişkinin heterojen olmasına dikkat edilerek ayrılmaya çalışılır. Kümeleme yöntemleri



genellikle hiyerarşik (aşamalı) ve hiyerarşik olmayan (aşamasız) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Hiyerarşik yöntemde küme sayısı önceden değil analiz neticesinde karar verilmektedir. Hiyerarşik olmayan yöntemde ise küme sayısının önceden belirlenmesi gereklidir. Sonrasında küme sayısına ulaşmak için benzer gözlemlerin atamaları yapılır (Atalay, 2019).

#### c. Yarı denetimli öğrenme

Melez bir yöntem olarak bilinip, denetimli ve denetimsiz öğrenmeyi birlikte kullanır. Sisteme verilecek veri seti etiketsiz ve etiketli verilerden oluşmaktadır. Etiketsiz verilerin daha fazla olması amaçlanır. Elimizdeki etiketli veriler daha fazla sayıda olan etiketsiz verinin sınıflandırılmasına ve özelliklerini ayrıştırmaya yön verir. Yapılan araştırmalarda kullanılan az sayıda etiketli verinin model performansını önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir (Sarıcaoğlu, 2019).

#### d. Pekiştirmeli öğrenme

Modele daha önceden başarması amacıyla sonuç bazlı hedef verilir. Amaç Denetimli öğrenme ve dinamik programlama alanlarını birlikte kullanıp, hedefe deneme-yanılma yoluyla nasıl varacağını öğretmektir. Sistem sonuç odaklı çıkardığı her veriye gerçeklik değerine göre ödül veya ceza alır. Alınan bu ödül veya cezalardan sonra, çıkardığı her sonuç için ödül kazanmayı hedefleyerek öğrenir. Sistemin asıl hedefimaksimum ödüle ulaşmaktır. Denetimli öğrenmeden farklı olarak modele veriler arasındaki girdi-çıkı ilişkisi verilmeden, denetçiye sistemin ürettiği çıktının doğru olup olmadığına karar vermesini sağlayarak sisteme yardımcı olması sağlanır. Böylece modelin performansının yükselmesi amaçlanır (Sarıcaoğlu, 2019).



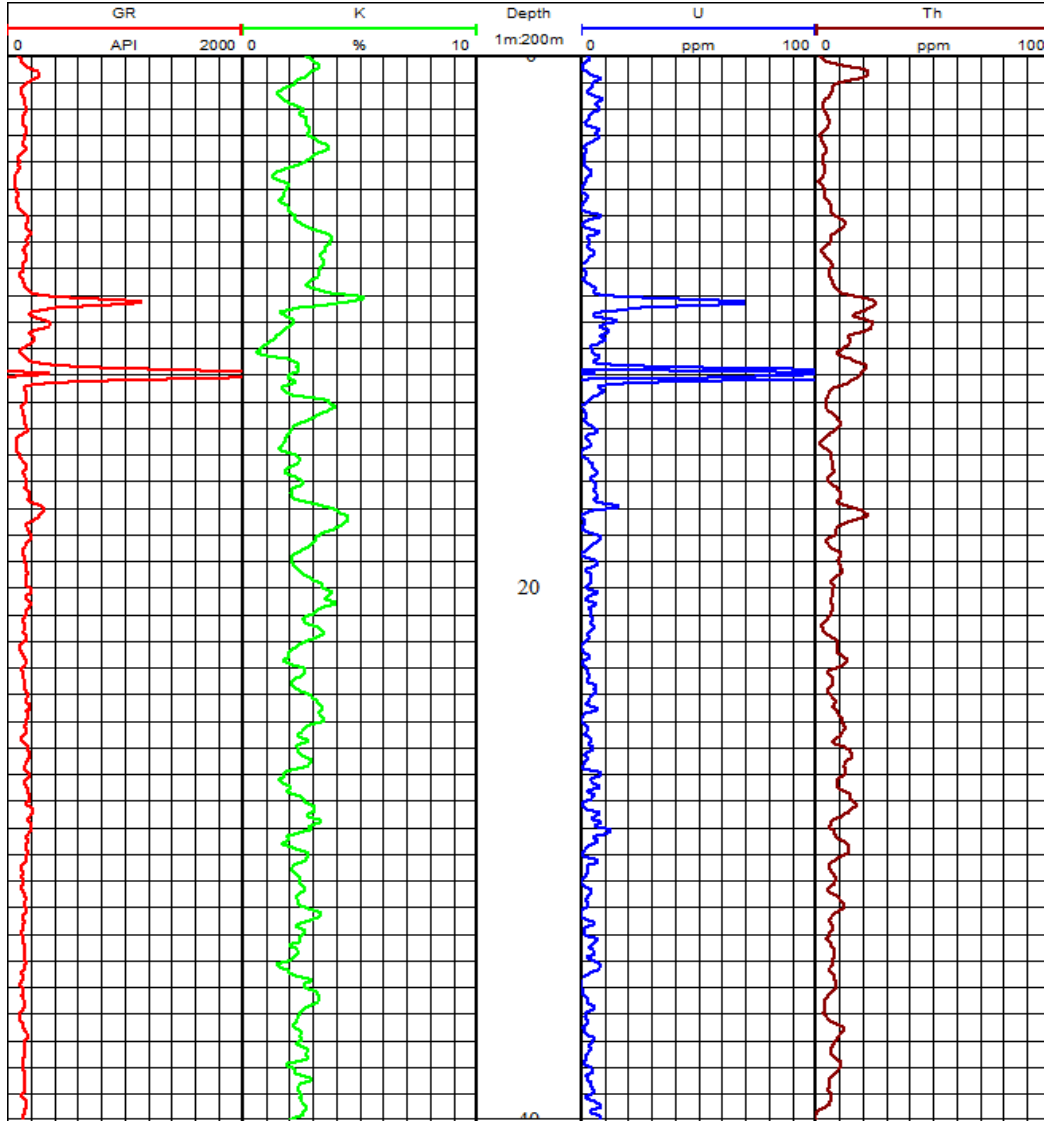
### **3. UYGULANAN MATERYALLER VE VERİ TOPLAMA**

#### **3.1. Jeofizik Kuyu Logu**

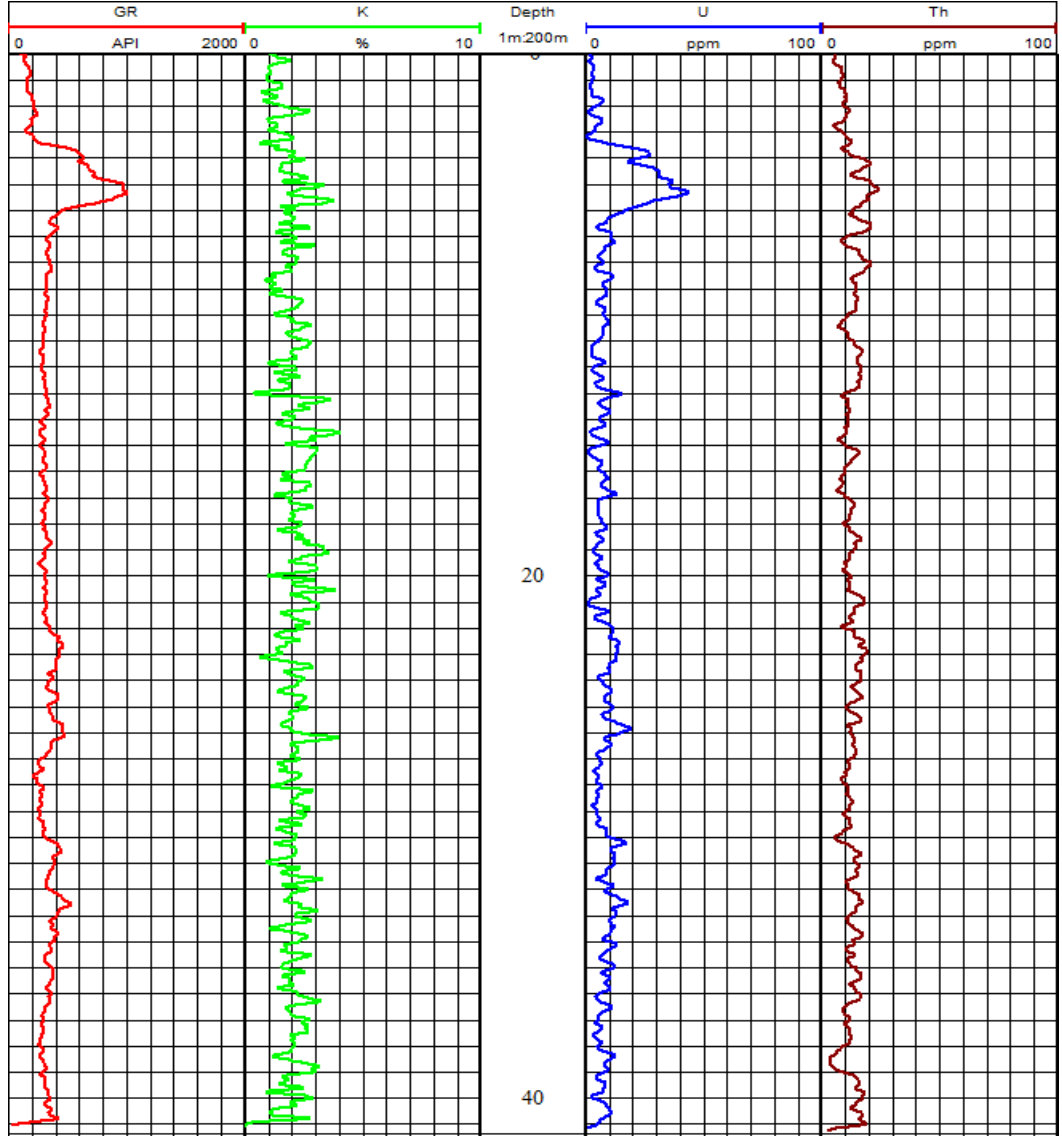
##### **3.1.1. Naturel gamma rayspectroscopy logu ve toplama**

Nevşehir ili Gülşehir ilçesinde 2011-2019 tarihleri arasında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılan toplam 290 sondaj kuyusundan naturel gamma ray spectroscopy logu ölçüsü alınmıştır. Bu ölçü çeşidi kuyuda doğal olarak var olan radyoaktif bir ışımayı yeryüzünde kayıt ettiğimiz sistemden görmemizi ve nicel olarak bir değer verip rezervini belirlememizi sağlamaktadır. Kuyu jeolojik olarak radyoaktif elementlerin olabileceği birimlerim kesilip geçilmesiyle kuyu bitirilip jeofizik kuyu logu ölçüsü alınmaya başlanır. Naturel Gamma Ray Spectroscopy ölçüsü iki aşamalı olarak alınır. Birincisi kuyuya prop indirilirken alınır. İnerken alınan ölçü bir deneme ölçüsü olacağından dolayı ölçüyü nispeten okuyabilecek bir hızda alınır. Ölçünün sağlıklı olup olmadığı, ışıma ve seviyeleri dikkate alınarak prop kuyu sonuna indirilip ölçü bitirilir. Asıl ölçümüz aşağıdan yukarıya olan ikinci aşamadır. Hızımız 2 m/dk(metre/dakika) olarak kuyunun sonundan başına kadar ölçü alınır. Alınan ölçü devamlılık arz edip 0,01 m metre hassasiyetle kuyunun tamamından alınır. Ölçüde, toplam gama ışımalarının okunduğu gamma ray ve ölçülen ışımının hangi radyoaktif ışımadan geldiğinin belirlenebilmesi için uranyum, toryum ve potasyum nicel değerleri yer alır. Günümüz şartlarında dijital olarak alınan bu ölçü anlık olarak bilgisayar ekranında bir log programı vasıtasıyla ekranda okunabildiğinden dolayı, ölçü alırken bile kuyu hakkında yorum yapılabilir. Jeofizik kuyu logu verileri ışığında kuyunun sağlıklı bir şekilde bitirilmesi veya da kuyu sonunda yakalanan bir değer varsa ve yine ölçüde formasyonun bitmeyip devam ettiği gözleniyorsa kuyunun devam etmesi gerektiği belirlenerek projeye yön verebilmektedir. Jeofizik kuyu logu ölçüsünde toplam ışımayı veren gamma ray (GR) birimi API, uranyum değerini veren U birimi PPM, toryum değerini veren Th birimi PPM ve potasyum değerini veren K birimi % olarak yer almaktadır. Kuyudan alınan bu ölçü daha sonra çamur, boru, çap gibi olumsuzlukların veya ölçü esnasında karşılaşılan olumsuzlukların giderilmesi için

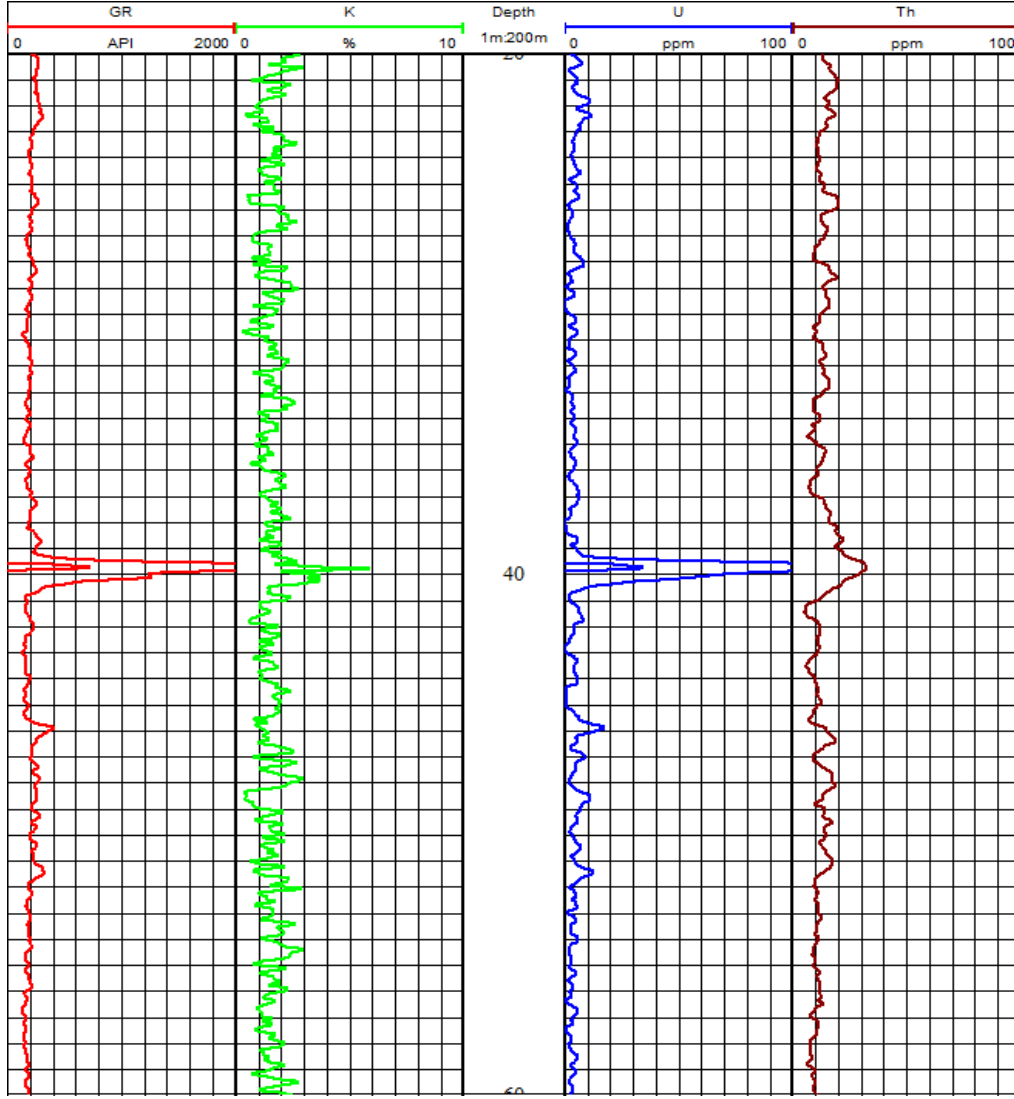
proses aşamasından geçirilip yorumcu için hazırlanır. Bu sahada elde edilen verilerde kesilen radyoaktif cevherli zonların uranyumca zengin olduğu belirlendiğinden dolayı çalışmada uranyum ve toplam gama ışımalarının ölçüldüğü gamma ray ölçüsü kullanılmıştır. Şekil 3.1’da sahadan alınmış bir ölçü örneğini görmekteyiz.



**Şekil 3.1.** Sahada alınan jeofizik kuyu logu (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir).

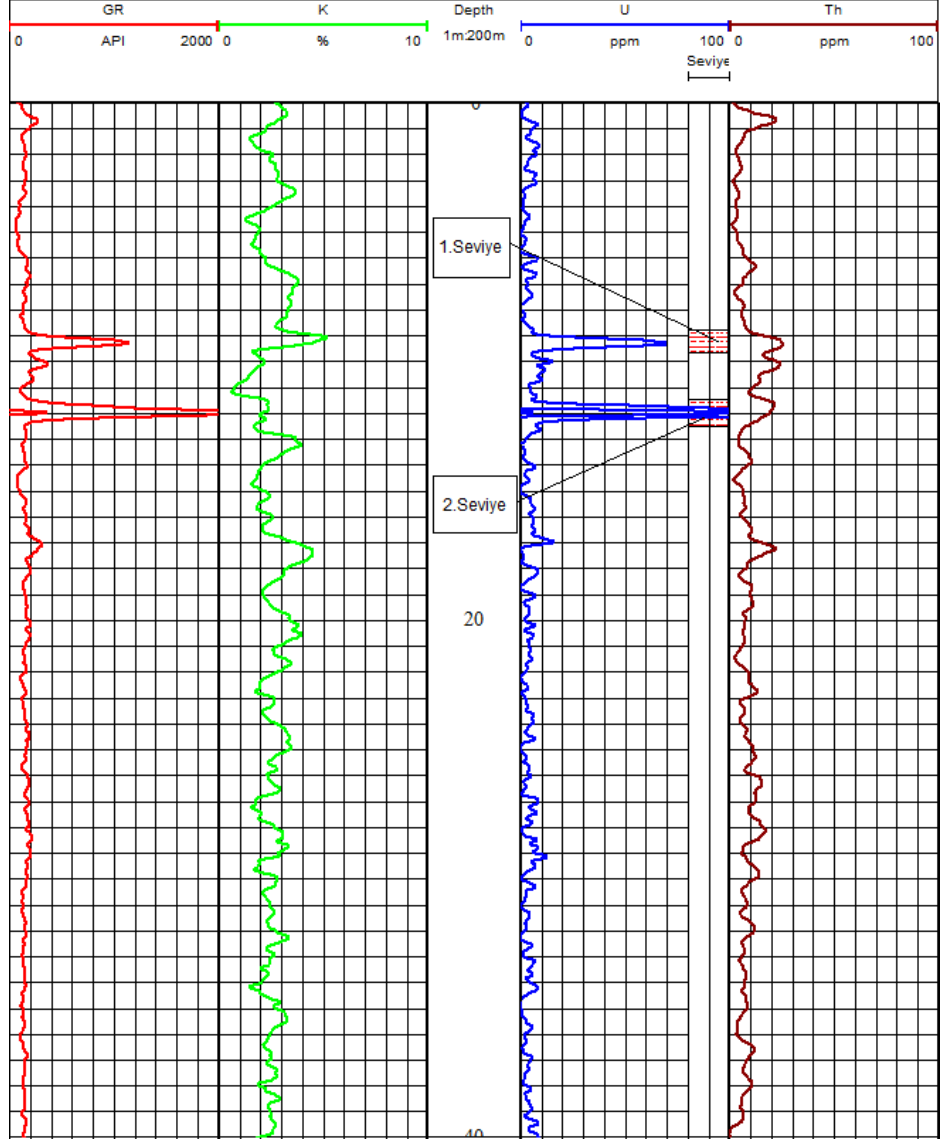


**Şekil 3.2.** Sahada alınan jeofizik kuyu logu (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir).



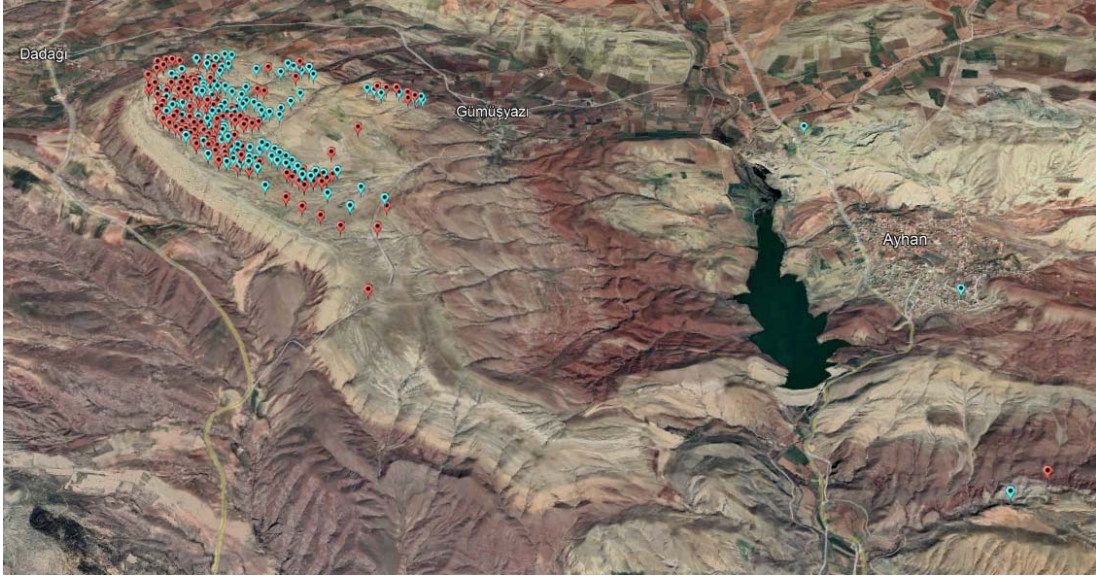
**Şekil 3.3.** Sahada alınan jeofizik kuyu logu (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir).

Proses yapılarak hazırlanan ölçüde cevherli seviyeler belirlenerek o seviyelerin denk geldiği metrelerde karotlardan numune alınması sağlanır. Seviyenin maksimum sayısal değeri rezerv değeri olarak jeofizik verisinde belirtilmiştir.



**Şekil 3.4.** Jeofizik ölçü ve uranyum seviyesinin gösterilmesi (düşey yönde gösterilen değerler ölçü derinlikleri metre cinsinden, yatay olarak gösterilenler birimlerin sayısal değerleridir).

Çalışmada şekil 3.5'te Google Earth'de yerleri gösterilen 290 kuyu verisi kullanılmıştır. Kullanılan 290 kuyunun verileri işlenerek sahayı temsilen ve verilerin sağlıklı olarak toplanabildiği 130 (şekil 3.5.'te kırmızı ile gösterilen) sondaj kuyusundan alınan jeofizik kuyu verileri kullanılmıştır. Bu verilerden toplam 466 seviyeden gamma ray ve uranyum değerleri alınarak çalışma yapılmıştır.



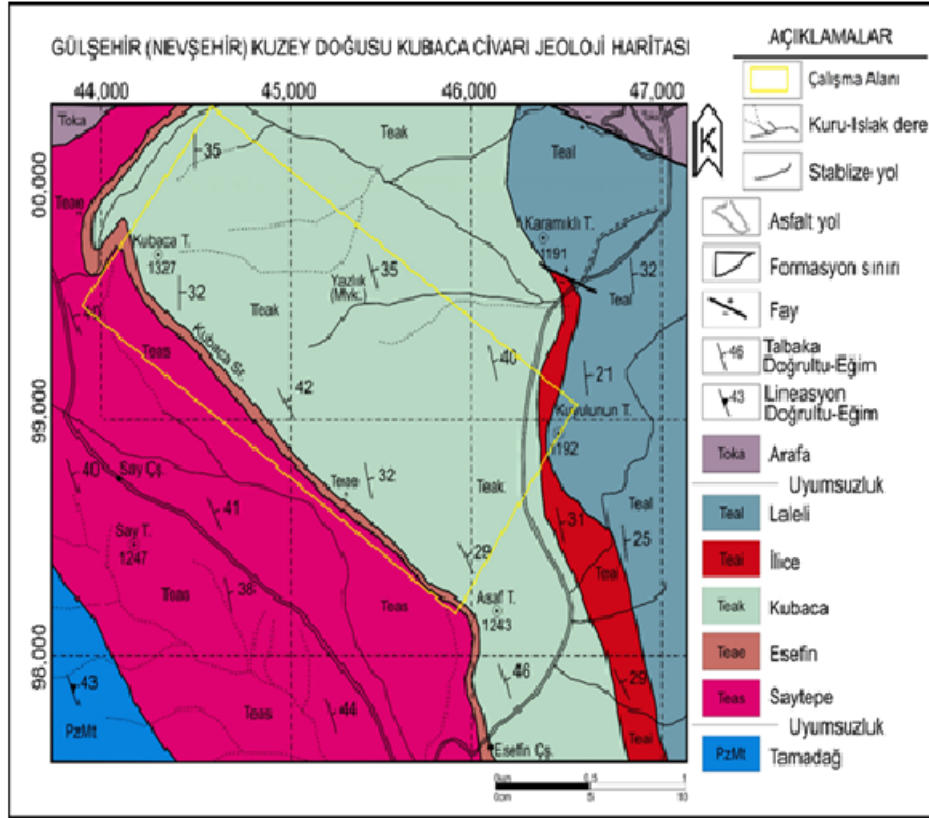
**Şekil 3.5.** Sahada yapılan sondajlar ve yerleri. Çalışmada kırmızı ile gösterilmiş olan sondajların verileri kullanılmıştır (Google Earth, ölçeksiz).

### **3.2. Jeoloji Araştırması ve Laboratuvar Verilerinin Elde Edilmesi**

#### **3.2.1. Jeoloji arama çalışmaları**

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2011 yılından itibaren Nevşehir ilinde kendisine ait ruhsat sahalarında radyoaktif hammadde arama faaliyetlerine başlamıştır. Sahada, havza analizi ve etütler sonucunda sondajlı arama çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmalara 2011 yılında 1/25.000 ölçekli detay jeolojik etüt, ve yüzeyden yapılan gamma-ray spektrometre ölçümleri ve yarma çalışmaları ile başlanmış olup, sonraki yıllarda sondajlı arama ve kaynak/rezerv belirleme çalışmaları ile devam edilmiştir. Yapılan gamma-ray spektrometre ölçümleri neticesinde çalışma alanında uranyum konsantrasyonunun en düşük değeri 0,5 ppm, en yüksek değeri ise 2.733,3 ppm olarak ölçülmüştür. Detay jeolojik etüt neticesinde jeolojik (Şekil 3.6) harita oluşturulmuştur. Oluşturulan jeolojik haritada radyoaktif ihtiva edebilecek formasyonlar da lokasyonlar belirlenerek kaynak/rezerv sondajlarına başlanmıştır (Kalender ve Alçiçek 2016).





**Şekil 3.6.** Çalışma alanı jeolojisi (Kalender ve Alçiçek 2016).

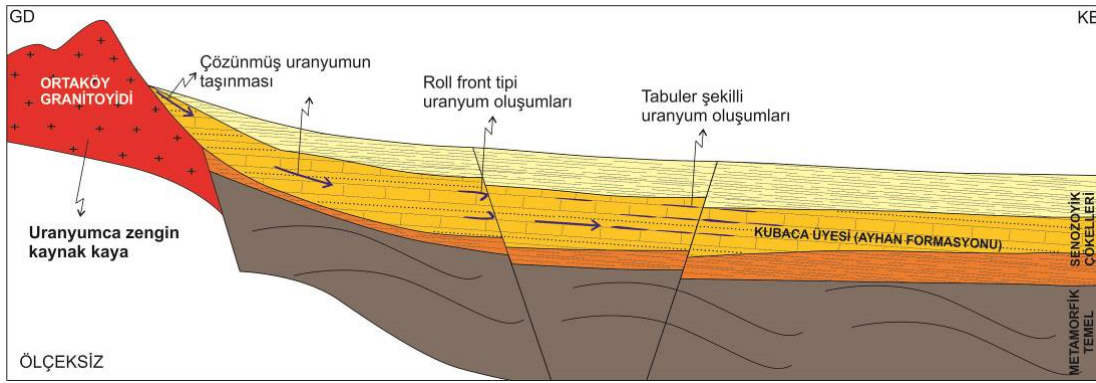
Sondajlardan alınan numunelerde yapılan analizlerle uranyum değerleri ve seviyeleri belirlenerek, alandaki cevherleşme ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Anomali tespit edilen sondajlarda uranyum içeren cevherli zona genellikle 0 ile 170’li metreler aralığında girilmiş olup, cevherleşmelerin tamamı Ayhan Formasyonu’nun Kubaca üyesinde gözlenmiştir. Kubaca üyesinin özellikle kireçtaşlarında önemli cevherleşmelere rastlanmıştır. Gölün daha derin kesimlerinde çökelmiş olan bitümlü şeyllerde de bazı cevherleşmelere rastlanmıştır. Yapılan sondajlarda 0,10-2,00 m arasındaki kalınlıklarda uranyumlu zon kesilmiştir. Bu zondaki uranyum değerleri 150-2.201 ppm arasındadır.

### 3.2.2. Jeolojik olarak uranyum zonunun belirlenmesi

Çalışmaya konu olan sahada yüzeyde yapılan jeolojik çalışmalar neticesinde radyoaktif bir cevherleşmenin olduğu saptanıp sondajlar önerilmiştir. Yapılan sondajlarda genel olarak iki farklı seviyede cevherleşmelere rastlanmıştır. Cevherleşmelerin tamamı Ayhan Formasyonu’nun Kubaca üyesi içinde yer alan kireçtaşlarında gözlenmiştir.

Gölün daha derin kesimlerinde çökelmiş olan bitümlü şeyllerde de bazı cevherleşmelere rastlanmıştır. Yapılan sondajlarda 0,10-2,00 m arasındaki kalınlıkta uranyumlu zon kesilmiştir.

Sondajlardan alınan numunelerde yapılan analizlerle uranyum değerleri ve seviyeleri belirlenerek, alandaki cevherleşme ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır. Buna göre çalışma alanında, asit karakterli magmatik ve volkanik kayalar, uranyumun kaynak kayalarıdır. Bu kayaların getirdiği uranyumun, uygun şartlar altında çözelti halinde taşınarak, sedimanter ortamlarda depolanması söz konusudur. Bu da, alandaki cevherleşmenin genel tanımını oluşturmaktadır (Şekil 3.7.). Ayrıca, çalışma alanında yapılan mineralojik değerlendirmeler ile, cevherleşmelerin üç ayrı seviyede konumlandıkları tespit edilmiştir. Bunlar; akarsu fasiyesinin tabanında yer alan kireçtaşı arabantlarında, kırık zonlarını dolduran kalsit içerisinde uranyum karbonat minerali olan rutherfordin ( $UO_2CO_3$ ), akarsu fasiyesi içerisindeki roll front yapıları içerisinde indirgen ortamda uraninit ( $UO_2$ ) minerali olarak ve akarsu fasiyesi üzerine gelen gölsel fasiyesi içerisinde organik malzemece zengin kiltası-silttaşı aradalanmalı seviyeler içerisinde flor-apatitminerali formunda gözlenmektedir (Kalender ve Alçiçek 2016).



**Şekil 3.7.** Çalışma alanındaki uranyum cevherleşmesine ait genel kavramsal model (Karaca, 2017).

### 3.2.3. Karotlardan numunelerinin laboratuvar ortamında değerlendirilmesi

Sondaj aşaması bitirilip jeofizik alındıktan sonra radyoaktif barındırabilecek karot numune seviyeleri belirlenir. Belirlenen bu seviyeler jeoloji mühendisleri tarafından yarılanıp poşetlenip Maden Tetkik ve Arama genel müdürlüğünün laboratuvarına gönderilir. Laboratuvara gelen numuneler ppm değerlerinin okunabilmesi için X-ışını floresans spektrometresi (XRF) ve X-ışını difraktometresi (XRD) cihazlarında analiz

yapılabilmesi için bir dizi işleme tabi tutulduktan sonra numune hazırlanıp cihazlarda analiz ettirilir. Cihazların genel olarak foton-madde etkileşmesi sonucu gelen karakteristik X-ışınları ve saçılma fotonlarının nicel ve nitel değerlendirilmesi yapar ve numuneye ait ppm değeri elde etmemizi sağlar.

Laboratuvardan elde edilen sonuçlar ve jeofizik ölçümler birlikte yorumlanarak sondajda radyoaktif maddenin olup olmadığı değerlendirilirken, rezerv belirlemede kullanılan uranyum birimi ppm sayısal değeri için genellikle laboratuvar değeri kullanılmaktadır. Çalışmaya konu olmuş sondajlardan toplam 466 adet seviyeden laboratuvar sonucu alınarak sisteme sonuç olarak aktarılıp, jeofizik ölçümler aralarındaki bağ incelenmeye çalışılmıştır.

### 3.3. Doğrusal Regresyon Analizi ve Kullanılan Metot

Çalışmamızda verilerin birbirleriyle bağlantılı olup olmadığını regresyon analizi ile test edip aralarında bir bağ olduğunu anlayabilmek için değişkenlerimizi yani girdilerimizi ve çıktılarımızı belirleyerek analiz ettik. Kullandığımız değişkenlerde meydana gelen bir değişim diğer değişkenleri aynı ölçüde olmasa da etkilediğini gördük. Elde edilen bu etkileşim yüzünden verilerimiz arasındaki sebep-sonuç ilişkilerinin incelenmesi gerektiğinin sonucuna vardık. Elde edilen bu ilişkilerin matematiksel formüller ile ifade edildiği yapılar regresyon denklemleri olarak adlandırılır. İlişkilerin doğrusal fonksiyonla kullanılarak ifade edilen doğrusal regresyon iki veya daha çok değişken arasındaki ilişkiyi inceleyen denetimli regresyon modellerindedir. Literatürde tek bağımsız değişkene sahip doğrusal regresyon modeline, basit doğrusal regresyon; birden fazla değişkene sahip doğrusal regresyon modeline de çoklu doğrusal regresyon adı verilmektedir. Denklem 3.1’de basit doğrusal regresyon modeline ait genel denklem verilmiştir (Emeksiz ve Demir, 2021; Metlek ve Kayaalp, 2020).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + c \quad (3.1)$$

Üstteki denklemde  $x$  değeri bağımsız değişkeni,  $y$  değeri  $x$  değişkenine bağımlı olan  $y$  değişkeni,  $\beta_0$  değeri doğrunun kesim noktasını,  $\beta_1$  değeri doğrunun eğimini,  $c$  değeri de hatayı temsil etmektedir.

Birden fazla değişkene sahip çoklu doğrusal regresyon modelindeki bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki doğrusal ilişkinin genel denklemi denklem 3.2’de verilmiştir.

$$y=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\dots+\beta_nx_n+ci \quad (3.2)$$

3.2 ve 3.3 denklemlerinde kullanılan  $ci$  i. Terim için hata değerini ifade edip denklem 3.3 ile hesaplanmaktadır.

$$ci=y-yt \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’te yer alan  $y$  gerçek değeri,  $yt$  ise i. Tahmin değerini ifade etmektedir (Emeksiz ve Demir, 2021; Metlek ve Kayaalp, 2020).

Değişkenlerden birinin bağımlı ( $y$ ), diğerinin bağımsız ( $x$ ) olması durumunda  $y$ ’nin  $x$ ’in bir fonksiyonu olarak ifade edilir (Yıldız, N., Akbulut, Ö. ve Bircan H. 2014). Regresyon analizi hesabında bağımsız değişkenin bir parametrelili olması durumunda basit regresyon analizi, bağımsız parametrenin birden fazla olması durumunda ise çoklu regresyon analizi yapılmaktadır (Montgomery, D. C., Peck, E. A. ve Vining G. G.2013).

### 3.3.1. Çalışmamızda kullanılan doğrusal regresyon analizi

Uranyum tahmininde basit doğrusal regresyon ve çoklu doğrusal regresyon olarak iki denklem kullanılmıştır. Basit doğrusal regresyonda radyoaktif jeofizik verilerinden elde edilen gamma ray, uranyum değerleri girdi laboratuvar değerleri çıktı, çoklu doğrusal regresyonda ise gamma ray ve uranyum birlikte girdi laboratuvar verileri çıktı olarak analizler oluşturulmuştur. Denklemler kullanılarak oluşturulan 3 gruptan 3 doğrusal regresyon modeli oluşmuştur. Uranyum tahmininde girdi değerleri radyoaktif jeofizik kuyu loglarında elde ettiğimiz jeofizik uranyum (JU) değeri, jeofizik gamma ray (JGR) değeri ve çıktı olarak kullanacağımız değerde laboratuvar uranyum (LU) değeri olacaktır.

Oluşturulan modellerin performansını belirlemek için belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama karesel hata (Mean Squared Error, MSE) istatistik kriterleri kullanılmıştır. Belirlilik katsayısı, bir uyum derecesini ifade etmektedir. Bu katsayının maksimum alacağı değer 1, minimum alacağı değer ise 0’dır. Belirlilik katsayısının 1’e yaklaşması bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki uyumun iyi olmasını, 0’a yaklaşması bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerinde etkisinin az olmasını ifade

etmektedir.  $R^2$ 'nin 1 olması bağımsız değişkenlerle bağımlı değişken arasında tam anlamıyla bir uyum olduğunu,  $R^2$ 'nin 0 olması ise bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasında hiç uyum olmadığını göstermektedir (Öztürkcan, M. 2009).

Hata kareler ortalaması olan MSE, tahmin edilen sonuçların gerçeğe ne kadar yakın olup olmadığını gösteren performans ölçüsüdür. MSE değerinin küçük olması, oluşturulan model performansının iyi olduğunu gösterir (Montgomery, D. C., Peck, E. A. ve Vining G. G. 2013).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'de  $y_i$  bizim çıktılarımız olarak kullandığımız laboratuvar değerini,  $\tilde{y}_i$  ise analiz sonucu elde edilen tahmini değer ve  $n$  örneklem sayısını gösterir.

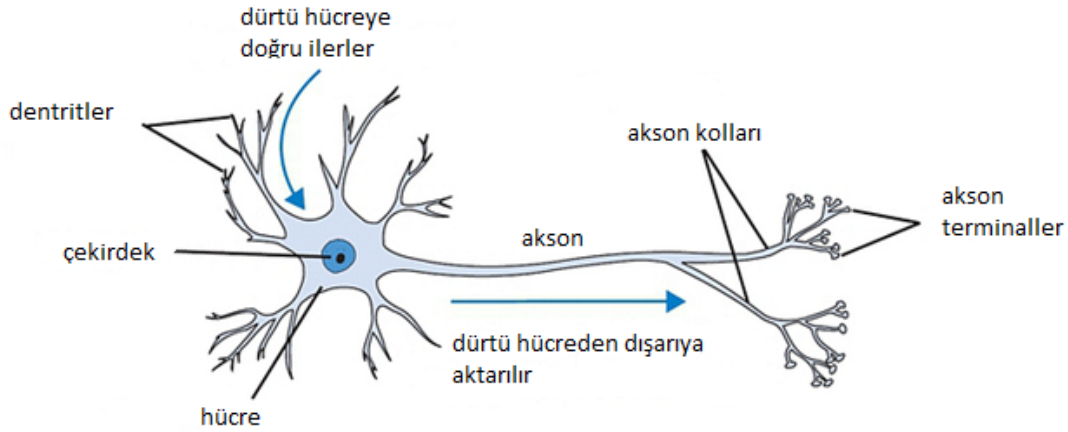
### 3.4. Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Kullanılan Metot

Bilgisayar tabanlı, insan beyninin çalışma prensibine dayalı bir algoritma fikri YSA'nın temelini oluşturmuştur. İnsan beyninin sahip olduğu keşfedebilme, öğrenme, oluşturabilme, eldeki veri setinden yeni veriler üretme yeteneklerini, YSA da modelleyerek dışarıdan bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmesini amaçlamaktadır. Bunu tıpkı bir biyolojik sinir sisteminin işlevinde kullanılan yapı taşları olan nöron, dentrit, hücre gövdesi, aksonlar ve sinapsların çalışma prensiplerine dayanarak gerçekleştirmektedir. Tablo 3.1'de YSA'da kullanılan terimlerin biyolojik sinir ağlarında var olan elemanlara karşılık gelen elemanları yer almaktadır.

**Tablo 3.1.** Biyoloji sinir sistemi ve yapay sinir ağlarındaki karşılıkları (Öztürk ve Şahin, 2018)

Biyolojik Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağları
Nöron	İşlemci Elaman
Dentrit	Toplam Fonksiyon
Hücre Gövdesi	Transfer (Aktivasyon) Fonksiyonu
Aksonlar	Yapay Nöron Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Biyolojik hücre yapısı ve görevlerine kısaca değinecek olursak, dentritler elektriksel anlamda pasif giriş kolları olup dışardan hücreye gelen sinyalleri sisteme alır. Sisteme giren sinyal hücrede içindeki çekirdeğe alınıp tanınmaya çalışılır. Buradan çıkış darbelerinin üretildiği elektriksel aktif gövde olan aksona aktarılır, aktarılan sinyal aksonların diğer dentritlerle bağlantısını sağlayan sinaps aracılığıyla başka bir hücreye aktarılır. Bu aktarımlar kimyasal taşıyıcılar yardımıyla iletilmektedir. Şekil 3.1. de bir sinir hücresinin (nöron) biyolojik gösterimi (Neves ve diğ., 2017) yapılmıştır.



**Şekil 3.8.** Bir sinir hücresinin (nöron) biyolojik gösterimi (Neves ve diğ., 2017).

### 3.4.1. Yapay sinir ağlarının yapısı

Sistem içinde bulunan tüm sinir hücreleri bir veya birden fazla girdi veri seti alıp tek çıktı olarak dışarıya aktarırlar. Bu çıktı YSA da sonuç çıktısı olarak verileceği gibi başka bir YSA hücresine girdi olarak da verilebilir. YSA beş temel bileşenden oluşmaktadır.

**Girdiler:**Giriş verileri olup dış ortamdan YSA yapısına aktarılırlar. Aktarım dış ortamdan alınabildiği gibi farklı YSA modellerinden çıktı olarak alınan değerlerde olabilmektedir (Elmas, Ç. 2003).

**Ağırlıklar:**YSA'ya bir veya birden fazla girdi veri seti olabilmektedir. Her bir girdi elemanının birbirinden farklı ağırlık parametresi bulunmaktadır. Ağırlıklar pozitif veya negatif olmakla beraber ilk etapta rastgele seçilirler. Ağırlıklar sayesinde hücreye giren girdi verilerinin önem dereceleri belirlenir. Bu sayede hücreye en etkili girdi verileri elde edilmiş olur(Elmas, Ç. 2003).

**Toplama Fonksiyonu:**Gelen girdilerin hesaplandığı Girdi verilerinin kendisine atanan ağırlık değeriyle çarpılıp toplandığı fonksiyondur. Denklemi (3.5)'de verilmiştir.

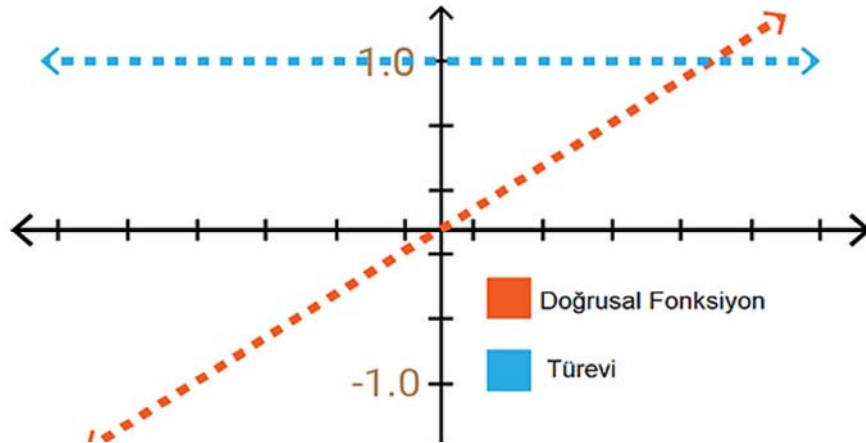
$$\text{netf} = \sum_{i=1}^m X_i * W_i \quad (3.5)$$

Toplama fonksiyonu ile ilgili kesin bir kural olmamakla beraber, veri setinin her elemanı kendine özgü toplama fonksiyonu kullanabileceği gibi bir önceki toplama fonksiyonunu da kullanabilir (Elmas, Ç. 2003).

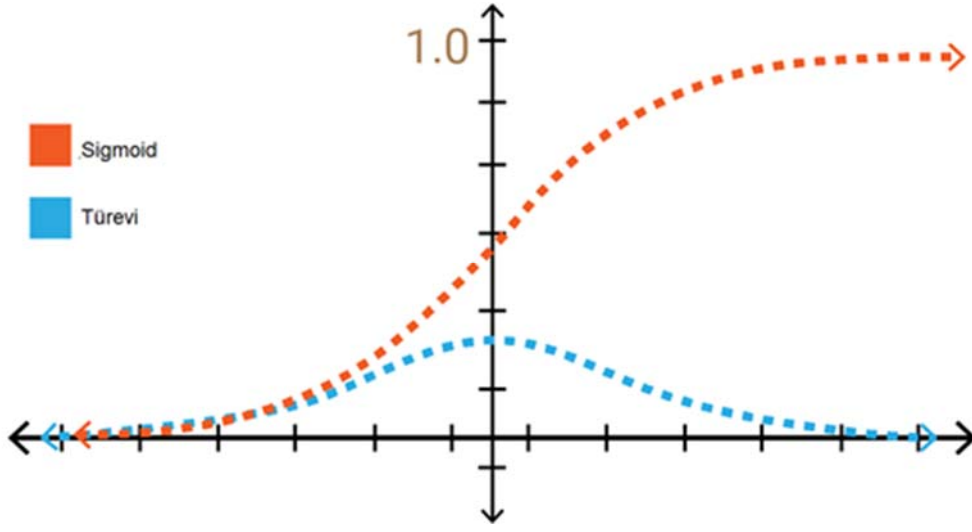
**Aktivasyon Fonksiyonu:** Nöronlardaki girdilerin işleme alınarak, verilerin karşılığındaki çıktıların elde edilmesi fonksiyonudur. Buradaki asıl amaç veri setindeki çıktı değerlerinin büyük değerlere ulaşmasına mani olup [0,1] veya [1,1] değer aralığında tutmaktır. Bu değer aralığının üstünde bir değer eğitimi durdurur. Aktivasyon fonksiyonu aşağıdaki gibi çeşitleri vardır (Elmas, Ç. 2003).

- Lineer (Doğrusal) Fonksiyonu
- Sigmoid Fonksiyonu
- Tan-sigmoid Fonksiyonu
- Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu
- ReLU Fonksiyonu
- Leaky (Sızıntı) ReLU Fonksiyonu
- Softmax Fonksiyonu
- Swish Fonksiyonu

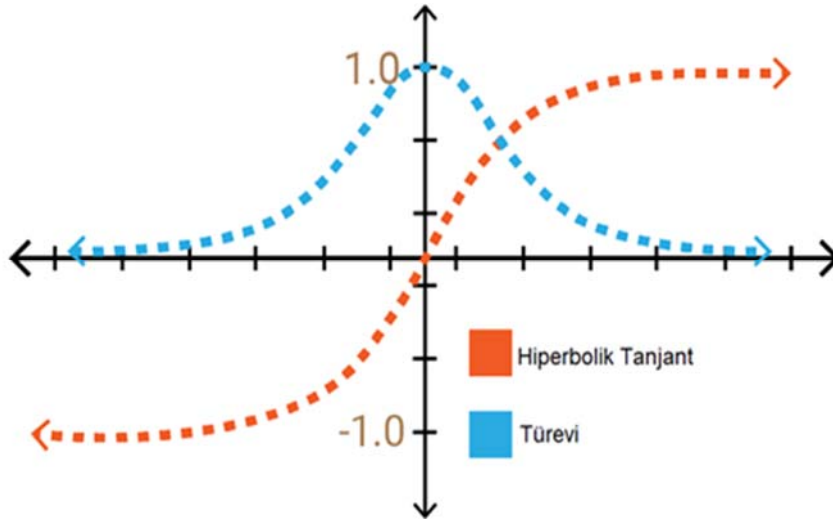
YSA da en çok ön plana çıkıp kullanılan aktivasyon fonksiyonları doğrusal fonksiyon (Şekil 3.9), sigmoid fonksiyonu (Şekil 3.10), Hiperbolik tanjant fonksiyonu (Şekil 3.11)'dir.



Şekil 3.9. Doğrusal fonksiyonu (Kızrak Ph.D. 2019).



Şekil 3.10. Sigmoid fonksiyonu (Kızrak Ph.D. 2019).



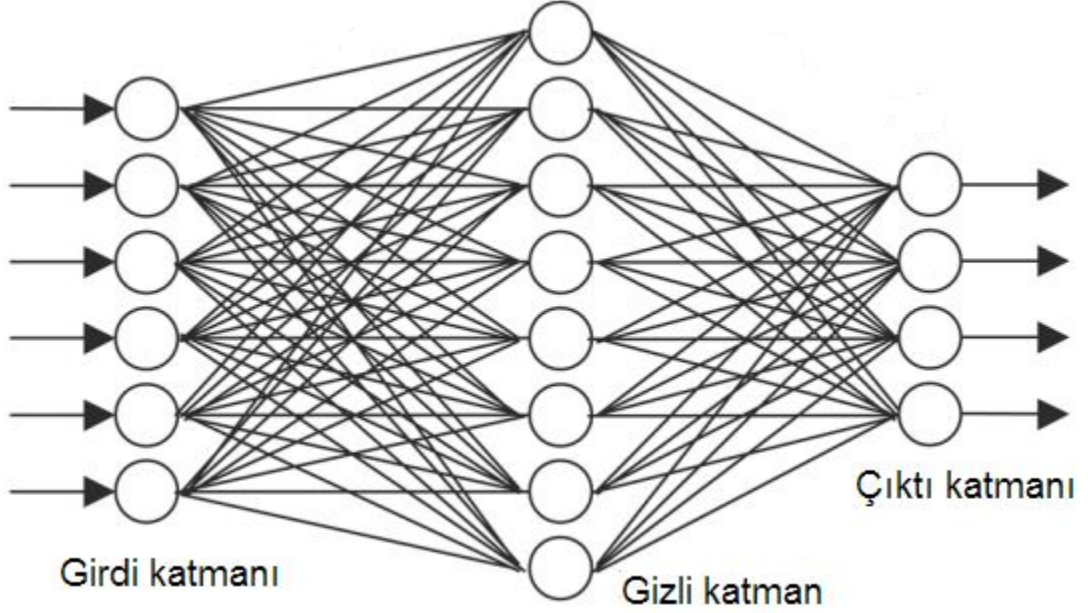
Şekil 3.11. Hiperbolik tanjant fonksiyonu (Kızrak Ph.D. 2019).

Çıktılar:Veri setlerinin sistemden işlendikten sonra elde edilen değerlerdir. Bu değerler çıktı olarak alınır. Yapay sinir ağları birçok hücrenin bir araya gelerek etkileşiminden oluşur. Girdi ve çıktı olmak üzere iki katmanı bulunmaktadır. Yalnızca tek girdi ve tek çıktıdan oluşuyorsa tek katmanlı ağ, bünyesinde birden çok girdi ve çıktılar barındırıyorsa buna da çok katmanlı ağ yapısı denir. (Elmas, Ç. 2003). Çok katmanlı ağ yapısında birden fazla girdi ve çıktı katmanı yer almaktadır. Sistemin eğitilip öğrenmesi, eğitim verisi üzerinden ağırlıklara göre hesaplanır ve çıktıya dönüşür. Bunların doğruluğunu test etmek için, sisteme veri girişi yapılmadan önce



aynı verilerden rastgele seçilip eğitim verisinden ayırıp sistemin tanımadığı ve adına test verisi olarak nitelendireceğimiz verilerle algoritma test edilir.

Şekil 3.12’de girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanlarından oluşan basit bir YSA yapısı görülmektedir.



Şekil 3.12. Yapay sinir ağı yapısına bir örnek

Girdi katmanı sisteme verilerin girildiği yerdir. Ortadaki yani girdi ile çıktı katmanı arasındaki katmana gizli katman olup dışarıyla herhangi bir bağlantısı olmayıp, girdi katmanına gelen veriyi çıktı katmanına gönderir. Son katman olan çıktı katmanı verinin sistem dışına iletilmesi sağlar.

### 3.4.2. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması

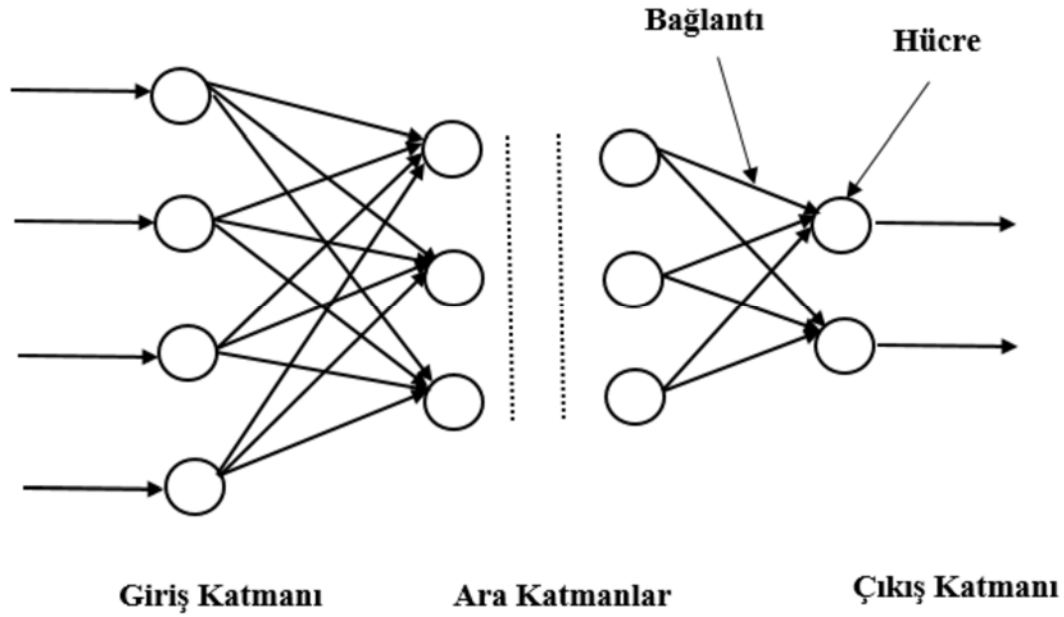
Öğrenme ve yapılarına göre YSA ikiye ayrılmaktadır (Öztemel, E. 2003).-Yapılarına göre yapay sinir ağları

- Öğrenme algoritmalarına göre yapay sinir ağları
- Yapılarına göre yapay sinir ağları

İleri ve geri beslemeli ağ olmak üzere ikiye ayrılırlar (Öztemel, E. 2003).

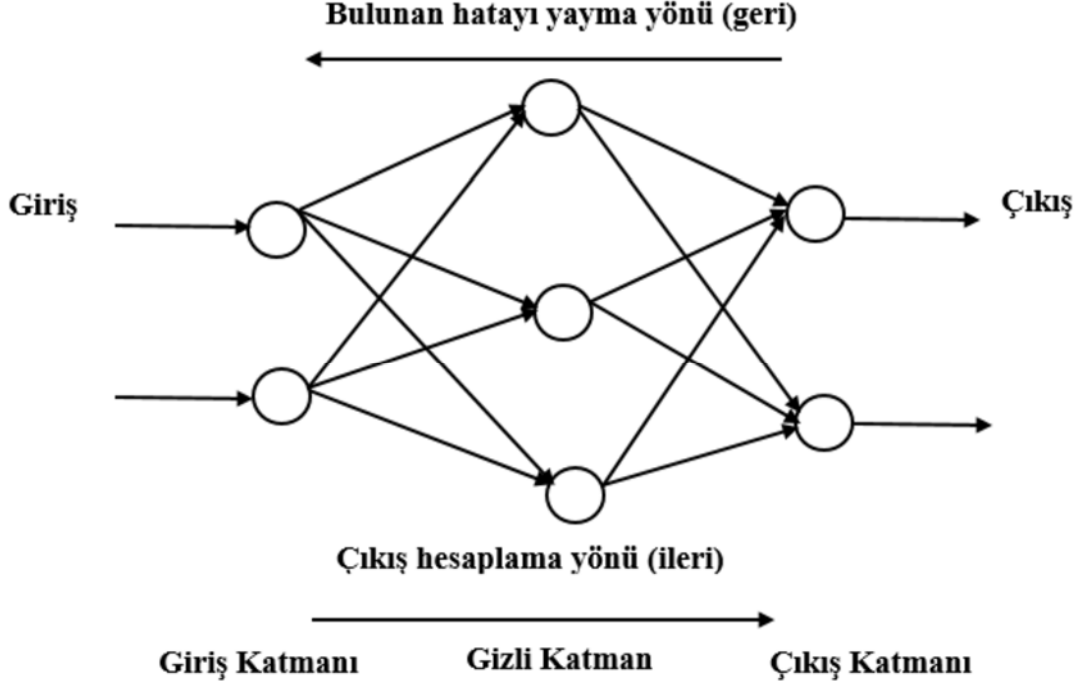
İleri beslemeli ağlar:Adından da anlaşılacağı gibi sistem sürekli ileri beslemeli olarak çalışır. Şekil 3.13’de gösterildiği gibi ileri beslemeli nöron ağı, girdi verilerini girdi

katmanından girip gizli katman olan ara katmana oradan da çıktı katmanına doğru ilerlediği ileri ağ yapısına sahiptir.



**Şekil 3.13.** İleri beslemeli YSA (Öztemel, E. 2003).

Geri beslemeli ağlar: Sistemde çıktı olarak elde edilen değerler başa döndürülerek girdi verisi olarak kullanılabilir. Şekil 3.14’de gösterildiği gibi önceki katmandan aldığı bilgiyi ara katmana veya girdilere yönlendirme özelliği vardır. Bu şekilde çıkış değerleri o anki girdi veya önceki giriş verileri olarak kullanım sunar. Bu sayede tahmin olasılığı iyi sonuçlar verdiği için ileri beslemeli ağlardan daha dinamik bir yapıya sahiptir. Bir döngü içinde çalışır. Ağlarda her bağlantıya bir gecikme verilir. Bu gecikmeler çalıştığı zamanın çok katmanlı türevidir. Gecikmelerin toplamı döngü sırasında sıfırdır (Öztemel, E. 2003).



**Şekil 3.14.** Geri besleme YSA (Öztemel, E. 2003).

-Öğrenme algoritmalarına göre yapay sinir ağları

Oluşturulmak istenen bir YSA ağırlığının belirlenebilmesi için daha önce yapılmış bir sistemin giriş ve çıkış verilerini kullanarak yapılan öğrenme çeşididir.

Üçe ayrılırlar (Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003).

-Danışmanlı (Supervised) öğrenme

-Danışmansız (Unsupervised) öğrenme

-Takviyeli (Reinforcement) öğrenme

Danışmanlı (Supervised) öğrenme:Eğitim sırasında algoritmaya girdi ve çıktı verileri verilir. Sistemde oluşan ağırlık değerleri değiştirilerek güncellemeler yapılır. Algoritma kendisine gösterilen yönde istenilen ve gerçek çıktılar arasındaki hataya göre bir çözüm üretme üzerine kurulmuştur (Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003).

Danışmansız (Unsupervised) öğrenme:Dışarıdan bir uyarı almadan sisteme verilen girdi verilerinin sistemden çıkan çıktı değerlerini hedef alan bir öğrenme çeşididir. Girdi verileri verildikten sonra sisteme herhangi bir müdahale olmayıp ağı kendi kendine öğrenmesi hedeflenir (Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003).

Takviyeli (Reinforcement) öğrenme:Yapısı itibariyle danışmanlı öğrenme algoritmasına benzer. Elde edilen çıktı değerleriyle gerçek çıktı değerleri arasındaki fark hesaplanır ve hesaplanan hata oranı değeri ön koşulan değer ile karşılaştırılıp, sistemine girilen ağırlıklar değiştirilerek güncellenir.

### 3.4.3. Yapay sinir ağlarında öğrenme mantığı

YSA'da oluşturulan bir algoritmanın iyi bir sonuç verebilmesi için çok iyi bir ağ mimarisi ve öğrenmedeki etkin yöntemler gerekmektedir. İnsan beyni yeni bilgiyi ne kadar çok tekrar edip öğrenirse o kadar kalıcı olur mantığını sisteme öğretmeye çalışmalıyız. Algoritmada hedeflenen gerçek veriye en yakın sonucu ortaya çıkarmaktır. YSA girdilere göre verilen algoritmayı kullanarak en uygun çıktıyı hedefler. Ortaya çıkan sonuç ile gerçek değerler arasındaki fark hatayı gösterir. Hatanın kabul edilebilir bir düzeye gelene kadar ağ işlemleri tekrar eder. Veri setinin sistemde bir işlem yapmasına devir (epoch) denir (Wanto, A., Fauzan, M., Suhendro, D., Parlina, I., Damanik, B. E., Siregar, P. A., ve Hidayati, N. 2018). Ağın etkili bir şekilde öğrenmesi devir işlemi ile sağlanır. Devir sayısı kullanıcıya bağlı olarak değişmektedir. Bu sayının çok olması öğrenmeyi kolaylaştıracağı gibi çok yüksek olması da performansı düşürme etkisi de yaratabilir. Performansın ve öğrenmenin en iyi yapılabilmesi için YSA mimarisinin, aktivasyon fonksiyonunun, devir tekrarının ve öğrenme yöntemlerinin çok iyi seçilmesi gerekmektedir. Literatürde en çok kullanılan öğrenme kuralları Hebb kuralı, Hopfield kuralı, Delta kuralı ve Kohonen kuralı olarak bilinir.

Hebb kuralı: Hebb tarafından 1949 yılında geliştirilmiştir. Öğrenme prensibinin temelini oluşturur. Bir sinir hücresi başka bir sinir hücresinden sinyal girişi alıyorsa, ilke olarak aralarındaki bağın güçlendirilmesi gerektiğinin benimser (Öztemel, E. 2003).

Hopfield kuralı: Temelde Hebb kuralına benzer. Tek farkı ağın kuvvetlendirme ya da zayıflatma seviyesini öğrenme katsayısı ile belirleme ilkesini benimser (Öztemel, E. 2003).

Delta kuralı: Ağırlık verileri sürekli değiştirilerek hata oranı kabul edilebilir düzeye gelmesi sağlanmaya çalışılır. Hatanın karelerini en küçük değere ulaşması hedeflenir.

Geri besleme yöntemiyle hata düzelme işlemi en son katmandan başlayarak ilk katmana doğru yapılması ilkesine dayanır (Öztemel, E. 2003).

Kohonen kuralı:Kohonen kuralı olarak bilinen ilke 1984 yılında geliştirilmiştir. İnsandaki sinir hücresinin öğrenme prensibine benimser. Sinir hücreleri arasında bir yarış vardır. Yarışı kazanan ağırlığını değiştirir.

En büyük çıktı değerini veren hücre yarış kazanıp ağırlığını günceller. Ağırlığın değişmesiyle daha güçlü hale gelen hücre daha iyi sonuçlar verme ilkesini benimser (Öztemel, E. 2003).

#### **3.4.4. Levenberg – Marquardt (LM) yöntemi**

LM algoritması yapay sinir ağlarında Gauss-Newton ile Steepest-Descent yaklaşımlarını melez olarak kullanarak oluşturduğu ileri beslemeli geri yayımlı bir yöntemdir (Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003). Az parametre ile çalışıp seri bir şekilde yakınsama yapması yöntemi daha çok seçilmese ve öne çıkmasını sağlamıştır.

Levenberg 1944 yılında yöntemi bulmuş, Marquardt 1963-1970 yılları arasında geliştirdiği iç LM yöntemi denmektedir. En küçük kareler yöntemi kullanarak lineer olmayan denklemlerin ters çözümünde kullanılır. Denklem 3.6’da  $\Delta p$  vektörü sürekli değişimi verir.  $\Delta p$ ’nin sürekli değişimini engellemek için sınırlandırma konulur.  $\lambda$ , Marquardt sönüm faktörü sınırlandırmayı yapmaktadır. Söndürmeyi hedeflediğinden bu yöntem Sönümlü En Küçük Kareler yöntemi olarak bilinir (Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003).

$$\Delta p = (A^T \cdot A + \lambda \cdot I) A^T \cdot \Delta d \quad (3.6)$$

Formülde  $\Delta p$  düzeltme vektörünü,  $A$ , jacobian matrisini,  $I$ , birim matrisini ve  $\lambda$ , sönüm faktörünü temsil etmektedir. Yöntemde gerçek sonuçlar ile algoritmadan çıkan sonuçların farklarının karelerinin toplamı alınarak, en küçük kareler yöntemi kullanılır.

#### **3.4.5. Çalışmamızda YSA’da kullanılan metotlar**

Çalışmamızda ileri beslemeli geri yayımlı (İBGY, Feed forward back propagation) ağ benimsenip, Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritması ile ağ eğitilmiştir.

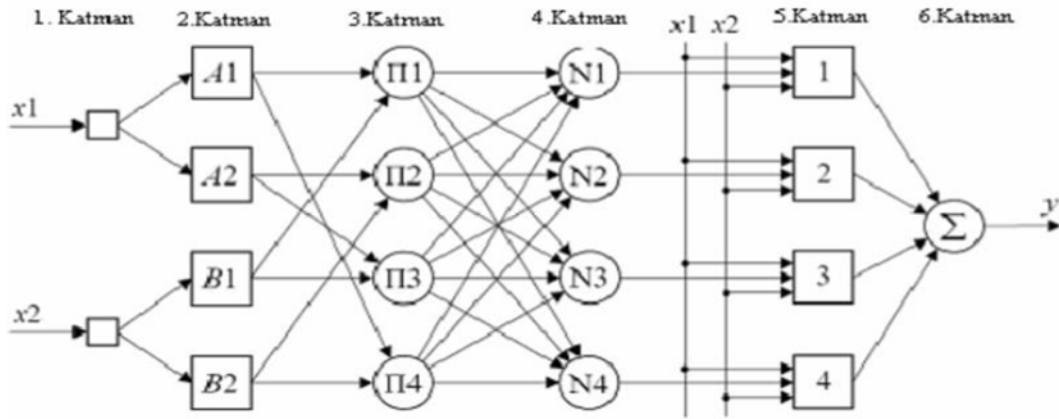
YSA eğitiminde LM algoritması daha hızlı ve kararlı olmasından dolayı tercih edilmiştir. Aktivasyon fonksiyonları kullanılarak oluşturulan modellere karmaşık veriler öğretilmeye çalışılıp regresyon modelinden farklı olması amaçlanmıştır. Aktivasyon fonksiyonu kullanılmayan YSA modellerinde regresyon modeline çok yakın değerler çıktığından ağa öğretilmesi oldukça önemlidir (Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. 2003). Çalışmamızda en çok tercih edilen sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Sigmoid fonksiyonu türevlenebilir olduğundan öğrenme işlemini başarıyla gerçekleştirir. Ortaya çıkan modellerin tahmin performansını belirleyebilmek için belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama karesel hata (Mean Squared Error, MSE) değerleri kullanılmıştır. YSA'da gizli katman nöron sayısı (N) 2'den başlayıp ikişer artacak şekilde 20'ye kadar 10 adet YSA modeli yapılmıştır. 3 gruptan oluşan bir veri setinden toplamda 30 YSA modeli oluşturulmuştur.

### **3.5. Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFİS)**

Yapay sinir ağları ve bulanık mantığı bir arada kullanabilen hibrit bir sistemdir. Sinir ağlarında bulunan paralel çözümleyebilme ve öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın temelini oluşturan eğer-ise özelliklerini kullanarak sonuca ulaşmayı hedefler. ANFİS en küçük kareler yöntemiyle geri yayılım (backpropagation) yöntemini bir arada kullanır (Silarbi, S., Abderrahmane, B., ve Benyettou, A. 2014). Sistem Sugeno ve Mamdani olmak üzere iki temel bulanık çıkarıma sahiptir. Sugeno Bulanık çıkarım sistemi (Bçs), literatürde Tagaki-Sugeno-Kang metodu olarak bilinen yöntem birden fazla girdi ve birden fazla çıktıya sahip olan karmaşık problemlerin çözümü için geliştirilmiştir (Silarbi, S., Abderrahmane, B., ve Benyettou, A. 2014). Mandani Bçs, iki girişli ve iki kurallı bir bulanık mantık sistemidir.

Hata oranını gösteren Kök Ortalama Kare Hatası (Root Mean Squared Error, RMSE) katsayısına bakıldığında Sugeno bulanık çıkarım sisteminden çıkan değer, iki girişli ile iki kurallı bulanık çıkarım olan Mandani sisteminden daha az olduğunu gösterip, daha iyi sonuçlar verdiğini bizlere söylemektedir (Silarbi, S., Abderrahmane, B., ve Benyettou, A. 2014). Yöntem kendi kuralı kendi oluşturmak için gereken bilgiyi uzmanın tecrübelerinden veya görüşlerinden yararlanarak oluşturabilmektedir. Ortalama kareler hatasının belli sınır kriterleri içinde olması istendiğinden, sonuç tahmin değerleri işleminde uzmanlardan da yardım alabilmektedir Ok, Y. (2010).

Yöntem altı katmandan (Şekil 3.15) oluşmaktadır.



Şekil 3.15. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi (Ok, Y. 2010).

Giriş düğümü (1.Katman) :Sisteme giriş yeri olup ilk bölümünü oluşturan düğümdür. Oluşan düğümler katmanlar arasında iletimi sağlayan bağlantıyı kurmak için üyelik fonksiyonu meydana getirirler. Üyelik fonksiyonları sayesinde her düğümün sonucunda oluşan çıkış  $O_{1,i}$  Denklem (3.7) veya Denklem (3.8) ile hesaplanır.

$$O_{1,i} = \mu A_i(x) \quad i = 1,2 \quad (3.7)$$

$$O_{1,i} = \mu B_{i-2}(y) \quad i = 3,4 \quad (3.8)$$

Kural düğümü (2.Katman) :Giriş verileri bulanık kümelere ayrılarak bulanıklaştırılırlar. Üyelik fonksiyonuna bağlı olarak düğüm çıktı değerleri derecelendirilirler. Düğümde üyelik derecesini  $\mu A_i(x)$  ve  $\mu B_i(y)$  sembolüyle gösterilir. Düğüm çıktısı ateşleme kuvveti olarak ifade edilir ve  $O_{2,i}$  olarak ifade edilip Denklem (3.9) ile hesaplanır.

$$O_{2,i} = W_i = \mu A_i(x) = \mu B_i(y) \quad i = 1,2 \quad (3.9)$$

Ortalama Düğümü (3.Katman) :Ateşleme kuvvetlerinin toplanması ile oluşturulan kuralların ağırlıkları normalize edildiği katmandır.  $O_{3,i}$  şeklinde gösterilip Denklem (3.10) ile hesaplanır.

$$O_{3,i} = \overline{W}_i = \frac{W_i}{W_1 + W_2} \quad (3.10)$$

4. Katman :Buraya kadar gelen her düğümün model çıktısının üzerindeki etkisi  $O_{4,i}$  ile gösterilip, Denklem (3.11) ile hesaplanır.

$$O_{4,i} = f_i = \overline{W}_i(p_i x + q_i y + r_i) \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'de  $p_i, q_i, r_i$  çıkış parametrelerini,  $\overline{W}_i$  ise tabaka çıkışını simgelemektedir.

Çıkış düğümü (5.Katman) :Son katmandır. Sisteme giren veri setinin bulanıklaştırılıp sonradan durulaştırarak oluşturulan genel çıkışını verir. Denklem (3.12) ile işlem yapılır.

$$f(x, y) = \frac{W_1(x,y)f_1(x,y)+W_2(x,y)f_2(x,y)}{W_1(x,y)+W_2(x,y)} = \frac{W_1f_1+W_2f_2}{W_1+W_2} \quad (3.12)$$

ANFİS çıktısının hesaplandığı Denklem (3.13) de verilmiştir.

$$O_{5,i} = f(x, y) = \sum \overline{W}_i f_i = \overline{W}_1 f_1 + \overline{W}_2 f_2 = \frac{\sum_i W_i f_i}{\sum_i W_i} \quad (3.13)$$





#### **4. RADYOAKTİF JEOFİZİK LOGUNDA TAHMİNİ URANYUM DEĞERİ**

Radyoaktif hammadde aramalarının son aşaması olan sondaj çalışmalarında kuyu içi alınan radyoaktif jeofizik ölçü çeşidi olan Natural Gamma Ray Spectroscopy Logundan elde edilen ölçüden kuyuda kesilen uranyum cevherinin laboratuvar da elde edilecek olan sayısal bir nicelik olan ppm değerini ölçüden tahmin etme çalışmasıdır. Bu tahmin yapılırken regresyon ve esnek hesaplama yöntemleri uygulanarak modelleme yapılmıştır. Çalışmada arama ruhsatı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde bulunan Nevşehir ili Gülşehir ilçesinde bulunan uranyum sahasından yapılan 130 sondaj verisi kullanılmıştır.

Jeolojik etüt neticesinde önerilen sondajlar 2011 yılında başlamış ve halan devam etmektedir. Çalışmamızda raporlanarak müsaade edilen 130 kuyu verisini kullanıldı. Kullanılan veriler yapılan sondajdan alınan radyoaktif jeofizik kuyu logu ölçüsünden elde edilen gamma ray ve uranyum nicel değerleri ve sondajlara ait karot numunelerinden elde edilen laboratuvar sonuçlarıdır. Kuyu bitiminde alınan jeofizik ölçüyle numune aralıkları belirlenerek laboratuvara gönderilir. Burada yapılmak istenen laboratuvar neticesini beklemeden jeofizik uranyumun değerlerinden gerçek olarak kabul edilen laboratuvar sonuçlarının sayısal değer tahmininde bulunmaktır. Uranyum ppm sayısal tahmininde doğrusal regresyon analizi, YSA ve ANFİS uygulamaları üzerinden çalışmalar yürütülmüştür. 466 veri setinden 335 eğitim verisi, 131 test verisi olacak şekilde rast gele seçilmişlerdir. Uranyum ppm değerinin tahmininde girdi olarak tanımlanan jeofizik uranyum (JU) değeri ve jeofizik gamma ray değeri (JGR) parametreleri kullanılmıştır. Tablo2'de parametrelerin birbiriyle kombinasyonu sonucunda 3 farklı grup meydana gelmiştir. İlk iki grup tek girdiden, üçüncü grup iki girdiden oluşmaktadır. Oluşturulan gruplar farklı girdilerden oluşmakta, çıktılar ise hepsinde aynı parametre olan laboratuvar uranyum (LU) değeridir.

**Tablo 4.1.** Veri gruplarının oluşturulması.

Grup	1.Girdi	2.Girdi
1	JU	
2	JGR	
3	JU	JGR

Veri setinin birbiriyle kombinasyonu ile oluşturulan Tablo 4.1’de 3 grup verilmiştir. Laboratuvar uranyum sonucu tahmini için bu gruplar kullanılarak doğrusal regresyon (basit ve çoklu) analizi, YSA ve ANFİS yöntemleri eğitim ve test olmak üzere iki türlü uygulanmışlardır. Sonuçların birbiriyle kıyaslanabilmesi için uygulanan bütün yöntemlerde aynı girdiler ve aynı çıktılar kullanılmıştır.

Eğitim veri seti, oluşturulan gruplar kullanılarak doğrusal, yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFİS) eğitilmesi sağlanmıştır. Eğitim sonucunda regresyon katsayıları ve istatistik sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlarla birlikte her grubun kendine has denklemleri oluşmuştur. İlgili grubun test verileri o guruba ait denklemde kullanılarak test verileri için tahmin yapılmıştır. Elde edilen tahmini test değerleri ile ölçülen test değerleri arasında regresyon analizi yapılarak MSE ve  $R^2$  değerleri elde edilmiştir.

#### **4.1. Uranyum Değer Tahmininde Doğrusal Regresyon Analizi**

Uranyum değer tahini için Tablo 4.1.’de oluşturulan 3 grup veri seti kullanılarak 3 doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Modellerden çıkan tahmin sonuçlarının performansını değerlendirmek amacıyla veriler arasında bir uyumluluk derecesini ifade eden belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ve tahmin edilen sonuçların gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu gösteren ortalama karesel hata (Mean Squared Error, MSE) istatistik kriterleri kullanılmıştır.

Belirlilik katsayısı  $1 \leq 0$  arasında değerler almaktadır. Katsayının 1'e yaklaşması bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken arasındaki uyumun iyi olmasını, 0'a yaklaşması bağımsız değişkenin bağımlı değişken üzerindeki etkisinin az olmasını ifade eder. Katsayının 1 olması durumunda tam uyumdan, 0 olması durumunda ise tam uyumsuzluk olduğunu gösterir (Öztürkcan, M. 2009). Tahmin edilen sonuçların gerçek değere ne kadar yakın olup olmadığını gösteren MSE değeri ne kadar küçükse performansın o kadar iyi sonuçlar verdiğini gösterir (Montgomery, D. C., Peck, E. A. ve Vining G. G. 2013).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2 \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'de  $y_i$  ölçülen değeri,  $\tilde{y}_i$  tahmini değeri ve  $n$  ise örneklem sayısını gösterir. Veri seti olarak kullanılan 466 verinin 335 veri eğitim verisi 131 veri test verisi olarak kullanılmıştır. Tablo 2'de görselini gördüğümüz 3 grup kullanılarak yapılan doğrusal regresyon analizinde, Tablo 3'de ilk ik grup tek bağımsız değişkenden oluştuğu için ( $\beta_0$ ) ve 1 tane regresyon katsayısı ( $\beta_1$ ), üçüncü grup iki bağımsız değişkenli olduğundan sabit ( $\beta_0$ ) ve iki tane regresyon katsayısı ( $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ) değerlerine sahiptirler. Grupların her birinin elde ettiği katsayılarla doğrusal regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Gruplara ait test verileri ilgili grup için oluşturulan denklemlerde yerine yazılarak tahmini test sonuçları elde edilmiştir. Test sonuçlarının model performansını görebilmek için  $R^2$  ve MSE değerleri hesaplanmıştır. Eğitim veri seti kullanılarak oluşturulan Tablo3'de M-1, M-2 ve M-3 doğrusal regresyon modellerini ifade edip, hesaplanan doğrusal regresyon sonucundan elde edilen katsayılar ve eğitim veri setinin  $R^2$  ve MSE değerleri gösterilmektedir.

**Tablo 4.2.** Eğitim veri setinin doğrusal regresyon analiz ve istatistik sonuçları.

MODEL	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$R^2$	MSE
M-1	-8.879916167	1.223628113		0.70	29.72
M-2	19.0682614	0.110211881		0.49	50.34
M-3	-3.891133604	1.316309021	-0.011648696	0.70	29.58

Tablo 4.2’de ortaya çıkan değerler eğitim verisi kullanılarak doğrusal regresyon analizi sonucudur. Bu sonuca göre M-1 ve M-3 modellerinin yüksek  $R^2$  ve düşük MSE değerleri diğer modele göre düşük çıkmıştır. M-2 modeli orta değerlerin altında bir belirlilik katsayısı ve yüksek bir MSE değeri verdiği için tahmin olasılığı ona göre düşecektir. M-1 ve M-2 modelleri çok yüksek olmasa da orta değerlerin üzerinde bir değer vererek tahmin derecesini yükseltmişlerdir. JU’nun girdi olarak girdiği basit ve çoklu regresyonlarda iyi tahmin verdiği görülmüştür. JGR’nin girdi olarak kullanıldığı tek bağımsız değişkenli modellerin tahmin performansının düşük çıktığı görülmüştür. Tablo3’de doğrusal regresyon analizi neticesinde elde edilen katsayılarla her modelin doğrusal regresyon denklemi oluşturulmuş ve verilerin içinde rast gele ayırdığımız 131 test verisi ilgili modele ait denklem oluşturularak tahmin sonuçları elde edilmiştir. Tahmini sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasındaki dağılım grafiği çizilerek, verinin  $R^2$  ve MSE değerleri hesaplanmıştır. Test veri kullanılarak doğrusal regresyon sonucu elde edilen değerler Tablo 4.3’de sunulmuştur.

**Tablo 4.3.** Test verisinin doğrusal regresyon analiz ve istatistik sonuçları.

MODEL	$R^2$	MSE
M-1	0.76	42.89
M-2	0.57	75.83
M-3	0.76	42.38

Test verisi kullanılarak oluşturulan doğrusal regresyon analizinden elde edilen Tablo 4.3’e bakıldığında M-2 modele  $R^2$  değerinin orta değere yakın olduğu ve MSE değerinin de yüksek olmasından dolayı tahmin performansı en düşük model olmuştur. En iyi tahmin performansını JU ve JGU verilerinin oluşturduğu M-3 olarak görmekteyiz. Yapılan analizler sonucunda eğitim verisinin regresyon sonucuyla test verisinin regresyon sonuçlarının birbirine yakın değerler verdiği gözlenmiştir.

#### 4.2. Uranyum Değer Tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA) Yöntemi

Çalışmamızda ileri beslemeli geri yayımlı (İBGY, Feed forward back propagation) ağ yöntemi uygulanmıştır. Veri setinin ağ içinde eğitilip öğrenmesi aşamasında daha hızlı ve kararlı olması için Levenberg – Marquardt (LM) algoritması tercih edilerek

kullanılmıştır. Ağın karmaşık verileri öğrenebilmesi için sıkça kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. YSA'da ortaya çıkan modellerin performansını başarısını belirlemek amacıyla belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama karesel hata (Mean Squared Error, MSE) değerleri hesaplandı. YSA'da gizli katman nöron sayısı deneme ağ modelleri üretilerek en uygun nöron sayısı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla grupların her birine nöron sayısı (N) belli bir sitemde değiştirilerek modeller oluşturuldu. Yöntemin eğitim veri seti analiz sonuçlarına bakıldığında en iyi tahmin performansına sahip modellerden biri 20 nöron sayısına sahip 3. Grup olmuştur. 3. Grupta 2 girdi değeri birde çıktı değeri vardır. Girdi değerleri jeofizik uranyum (JU) değeri ve jeofizik gamma ray JGR) değerleridir, çıktı değerleri laboratuvar uranyum (LU) değeri veri setlerinden oluşmaktadır. YSA'da Tablo 4.4'de yer alan 3 grup şeklinde modellenen veri setleri kullanılmıştır. Kullanılan grupların eğitim ve test verilerinin nöron sayısı 2'den başlayıp ikişer artarak 20'ye kadar toplamda 30 adet model ortaya çıkmıştır. Tablo 4.4'de grupların eğitim veri seti için elde edilen YSA modellerinin performans tahmin değerleri verilmektedir.

**Tablo 4.4.** Çalışmada kullanılan 3 grupta eğitim verileri için oluşturulan 2'den 20'ye kadar ikişer artışla alınan nöron sayılarına sahip YSA model performans tahmin sonuçları.

Nöron Sayısı(N)	1.grup		2.grup		3.grup	
	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE
2	0.71	28.89	0.59	50.13	0.66	35.22
4	0.70	29.74	0.60	56.38	0.57	48.52
6	0.73	26.63	0.56	45.35	0.72	27.57
8	0.64	68.92	0.61	48.34	0.72	27.96
10	0.74	26.28	0.51	76.40	0.74	26.09
12	0.71	28.36	0.62	53.32	0.76	24.08
14	0.74	25.63	0.57	53.81	0.74	26.03
16	0.76	24.91	0.56	52.62	0.70	29.12
18	0.66	45.09	0.64	45.51	0.67	33.17
20	0.74	26.35	0.61	60.63	0.77	22.46

YSA'da performans tahmini için kullanılan eğitim verilerinin sonuçları Tablo 4.4'de verilmiştir. Grupların nöron sayıları değiştiğinde belirlilik katsayısının ve MSE'nin değiştiği görülmüştür. 2. grubun genelinde düşük  $R^2$  ve yüksek MSE değerleri vererek düşük tahmin performansı sergilediği görülmüştür. 1. ve 3. grup nispeten birbirine yakın ve 2. gruptan daha yüksek  $R^2$  ve düşük MSE değerleri alarak sonuç tahmin performanslarının yüksek olduğu görülmüştür. Analizin geneline bakıldığında en iyi tahmin performansına sahip olan 20 nöron verilerek yapılan 3. grup veri setinde yüksek  $R^2$  ve düşük MSE değerlerine alan model olduğu ve en yüksek tahmin performansına sahip olduğu görülmüştür. Tablo 4.5'de 10 nöron sayısına sahip 2. grup veri setinde düşük  $R^2$  ve yüksek MSE değeri ile eğitim model için en düşük tahmin performansına sahip çıktı olarak gözlenmektedir.

**Tablo 4.5.** Çalışmada kullanılan 3 grupta test verileri için oluşturulan 2'den 20'ye kadar ikişer artışla alınan nöron sayılarına sahip YSA model performans tahmin sonuçları.

Nöron Sayısı(N)	1.grup		2.grup		3.grup	
	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE
2	0.76	55.56	0.57	77.12	0.70	130.10
4	0.76	56.93	0.47	111.05	0.57	130.38
6	0.73	60.06	0.54	89.34	0.73	59.80
8	0.60	132.39	0.52	90.53	0.75	61.17
10	0.73	62.76	0.40	243.65	0.67	121.20
12	0.53	92.21	0.53	94.90	0.58	97.66
14	0.74	65.72	0.45	116.46	0.59	72.40
16	0.72	57.91	0.53	103.48	0.52	104.88
18	0.59	135.36	0.44	166.02	0.66	94.14
20	0.72	81.07	0.43	177.00	0.66	131.61

YSA'da performans tahmini için kullanılan test verilerinin sonuçları Tablo 4.5'de verilmiştir. Grupların nöron sayıları değiştiğinde belirlilik katsayısının ve MSE'nin değiştiği görülmüştür. 2. grubun genelinde düşük  $R^2$  ve yüksek MSE değerleri vererek düşük tahmin performansı sergilediği görülmüştür. 1. ve 3. grup nispeten birbirine yakın ve 2. gruptan daha yüksek  $R^2$  ve düşük MSE değerleri alarak sonuç tahmin performanslarının yüksek olduğu görülmüştür. Analizin geneline bakıldığında en iyi tahmin performansına sahip olan 2 nöron verilerek yapılan 1. grup veri setinde yüksek  $R^2$  ve düşük MSE değerlerine alan model olduğu ve en yüksek tahmin performansına sahip olduğu görülmüştür. Tablo 4.5'de 10 nöron sayısına sahip 2. grup veri setinde düşük  $R^2$  ve yüksek MSE değeri ile test model için en düşük tahmin performansına sahip çıktı olarak gözlenmektedir. Modellerde kullanılan verilere bakıldığında radyoaktif jeofizik ölçümlerinde kullanılan jeofizik gamma ray (JGR) değerinin uranyum değerinin belirlemede zayıf tahminler verdiği fakat bunun yanında Jeofizik uranyum (JU) veya ikisinin birden kullanıldığı veri setinde tahmin performansının çok iyi neticeler verdiği gözlenmiştir.

### **4.3. Uranyum Değer Tahmininde ANFİS Yöntemi**

Yapay sinir ağları ve bulanık mantık çıkarım yöntemlerini bir arada kullanabilen algoritma oluşturabilmektedir. Çalışmamızda veri setinin eğitilmesi için ANFİS uygulamasında sıklıkla kullanılan geri yayılım (backpropagation) öğrenme algoritması kullanılmıştır. Birden çok girdimiz ve birden çok çıktımız olduğundan dolayı Sugeno Bulanık Çıkarım Sistemi (BÇS) kullanıldı. Diğer yöntemler için kullanılan Tablo 2'deki 3 grup, burada da aynı şekilde kullanılmıştır. Oluşturulmuş olan 3 grup için dört farklı üyelik fonksiyonu (Membership Function, MF) ve üç farklı üyelik fonksiyonu küme sayısı kullanılarak toplamda 36 ANFİS modeli oluşturulmuştur. Kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen (triangular, trimf), trapezoidal (trapezoidal, trapmf), genelleştirilmiş çan eğrisi (generalized bell shaped, gbellmf) ve gaussian (gaussian, gaussmf), küme sayısı olarak da sırasıyla 2, 3 ve 4 değerleri kullanılmıştır. Diğer yöntemlerde olduğu gibi modeller arasındaki performans tahmin sonuçlarını değerlendirmek için  $R^2$  ve MSE kriterleri kullanılmıştır. Çizelge 1'de oluşturulan grupların eğitim veri seti kullanılarak elde edilen ANFİS modellerinin  $R^2$  ve MSE değerleri Tablo 4.6'de verilmiştir.



**Tablo 4.6.** Üçgen (Triangular membership function, trimf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitim modellerinin sonuçları.

Grup	trimf2		trimf3		trimf4	
	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE
1	0.70	29.43	0.72	27.19	0.73	26.95
2	0.49	50.33	0.50	49.37	0.50	49.15
3	0.70	29.33	0.72	27.14	0.75	24.04

Farklı üyelik küme sayısına sahip üçgen (trimf) üyelik fonksiyonu Tablo 4.6’de sonuçları verilmiştir. Tablo 4.6’de trimf2, 2 adet üyelik fonksiyonu küme sayısına sahip, trapmf3 ve trapmf4 ise sırasıyla 3 ve 4 adet üyelik fonksiyonu küme sayısına sahip ANFİS modellerini ifade etmektedirler. Performans tahmin sonuçlarına bakıldığında 2. grup veri setine ait R<sup>2</sup> değerlerinin düşük MSE değerlerinin yüksek olduğu, 1. ve 3. grup veri setine ait R<sup>2</sup> değerlerinin yüksek MSE değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonunda küme sayısı artıkça model performanslarının da arttığı gözlenmiştir. Modelde en iyi performans tahmini bulunan 0.75 R<sup>2</sup> değeriyle 4 küme sayısına sahip 3. grup üçgen üyelik fonksiyonu olmuştur. En kötü tahmin sonucu 0.49 R<sup>2</sup> değeriyle 2 küme sayısına sahip 2. grup üçgen üyelik fonksiyonu olmuştur.

**Tablo 4.7.** Yamuk (Trapezoidal membership function, trapmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitim modellerinin sonuçları.

Grup	trapmf2		trapmf3		trapmf4	
	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE
1	0.68	31.83	0.70	29.00	0.72	27.70
2	0.30	68.81	0.47	51.53	0.43	56.17
3	0.68	31.56	0.74	25.74	0.73	26.49

Eğitim veri seti kullanılarak oluşturulan Tablo 4.7’de verilen ANFİS modellemesinde üyelik fonksiyonu trapezoid (trapezoidal, trapmf), üyelik fonksiyonu küme sayısı 2, 3 ve 4 kullanılmışlardır. Yamuk üyelik fonksiyonun bulunduğu Tablo 4.7’de 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonu olan gruplardan en iyi performans tahminini 0.74 ile yapan 3. grup olmuştur. En kötü performansı 0.30  $R^2$  değeriyle 2. grup 2 adet üyelik küme sayısına sahip trapmf2 vermiştir. Üyelik fonksiyonu küme sayısı 2’den 3’e çıktığında belirlilik katsayısında artış gözlenmiştir. Üyelik küme sayısı 3’den 4’e çıktığında ilk iki grupta artış fakat son üçüncü grupta hafif bir azalış görölmektedir.

**Tablo 4.8.** Genelleştirilmiş an eğrisi üyelik fonksiyonu (Generalized bell shaped membershid function, gbellmf ) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitimmodellerinin sonuçları.

Grup	gbellmf2		gbellmf3		gbellmf4	
	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE
1	0.70	29.20	0.70	29.32	0.72	27.81
2	0.49	49.66	0.50	48.71	0.49	49.62
3	0.71	28.69	0.72	27.42	0.77	22.97

Tablo 4.8’de genelleştirilmiş an eğrisi (generalized bell shaped, gbellmf) tercih edilerek, üyelik küme sayısı 2, 3 ve 4 seçilerek ANFİS modeli oluşturulmuştur. Performans tahmin sonuçlarına bakıldığında 2. grup veri setine ait  $R^2$  değerlerinde 2 ve 4 küme sayısına sahip üyelik fonksiyonlarında bir farklılık olmadığı 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonunda hafif bir artışın olduğu, 1. ve 3. grup veri setine ait  $R^2$  değerlerinin yüksek MSE değerlerinin düşük olduğu görölmektedir. Modelde en iyi performans tahmini bulunan 0.77  $R^2$  değeriyle 4 küme sayısına sahip 3. grup gbellmf4 üyelik fonksiyonu olmuştur. En kötü tahmin sonucu 0.49  $R^2$  değeriyle 2 ve 4 küme sayısına sahip 2. grup gbellmf2 ve gbellmf4 üyelik fonksiyonları olmuştur.

**Tablo 4.9.** Gaussian (gaussian, gaussmf ) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS eğitim modellerinin sonuçları.

Grup	gaussmf2		gaussmf3		gaussmf4	
	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE
1	0.70	29.20	0.70	29.24	0.72	27.12
2	0.46	14.44	0.50	9.92	0.48	50.57
3	0.71	28.90	0.71	28.86	0.75	24.56

Tablo 4.9’de gaussian (gaussian, gaussmf) tercih edilerek, üyelik küme sayısı 2, 3 ve 4 seçilerek ANFİS modeli oluşturulmuştur. Performans tahmin sonuçlarına bakıldığında 2. grup veri setine ait R<sup>2</sup> değerlerinde küme sayısının artışına bağlı bir artış veya azalışın olmadığı ve düşük değer verdiği, 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonunda hafif bir artışın olduğu, 1. ve 3. grup veri setine ait R<sup>2</sup> değerlerinin yüksek MSE değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Modelde en iyi performans tahmini bulunan 0.75 R<sup>2</sup> değeriyle 4 küme sayısına sahip 3. grup gaussmf4 üyelik fonksiyonu olmuştur. En kötü tahmin sonucu 0.46 R<sup>2</sup> değeriyle 2 küme sayısına sahip 2. grup gaussmf2 üyelik fonksiyonu olmuştur.

**Tablo 4.10.** Üçgen (Triangular membership function, trimf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları.

Grup	trimf2		trimf3		trimf4	
	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE
1	0.76	50.91	0.74	54.27	0.76	56.46
2	0.57	81.04	0.57	82.12	0.57	80.18
3	0.76	50.09	0.76	52.96	0.75	49.02

Üyelik küme sayısı 2, 3 ve 4 olan üçgen (trimf) üyelik fonksiyonuna ait ANFİS test modellerinin sonuçları tablo 4.10’de verilmiştir. Tablo 4.10’de trimf2, 2 adet üyelik fonksiyonu küme sayısına sahip, trapmf3 ve trapmf4 ise sırasıyla 3 ve 4 adet üyelik fonksiyonu küme sayısına sahip ANFİS test modellerini ifade etmektedirler.

Performans tahmin sonuçlarına bakıldığında 2. grup veri setine ait  $R^2$  değerlerinin düşük ve küme sayılarının değişmesine rağmen belirlilik katsayısında bir değişimin olmadığı, MSE değerlerinin yüksek olduğu, 1. ve 3. grup veri setine ait  $R^2$  değerlerinin yüksek MSE değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Üçgen üyelik fonksiyonunda küme sayısı artıkça model performanslarının da kayda değer bir artışın olmadığı çoğunda da sabit kaldığı gözlenmiştir. Modelde en iyi performans tahmini bulunan 0.76  $R^2$  değeriyle 1. ve 3. grup üçgen üyelik fonksiyonlarında görmekteyiz. En kötü tahmin sonucu 0.57  $R^2$  değeriyle ve küme sayısı değişse de değeri değişmeyen 2. grup üçgen üyelik fonksiyonu olmuştur.

**Tablo 4.11.** Yamuk (Trapezoidal membership function, trapmf ) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları.

Grup	trampmf2		trampmf3		trampmf4	
	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE	$R^2$	MSE
1	0.75	64.51	0.77	48.02	0.73	60.03
2	0.42	118.02	0.55	81.87	0.53	85.15
3	0.75	60.62	0.76	51.22	0.70	58.03

Test veri seti kullanılarak oluşturulan Tablo 4.11’de verilen ANFİS modellemesinde üyelik fonksiyonu trapezoid (trapezoidal, trapmf), üyelik fonksiyonu küme sayısı 2, 3 ve 4 kullanılmışlardır. Yamuk üyelik fonksiyonun bulunduğu Çizelge 11’de 2 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonundan 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyon değerlerine geçişte bir artış görülmüş fakat 4 adet küme sayısı üyelik fonksiyonuna geçişte azalış gözlenmiştir. 2. grupen kötü performans tahmini belirlilik katsayısı verirken 1. ve 3. gruplar yüksek belirlilik katsayısı ile iyi performans tahmini ortaya çıkarmışlardır. Gruplardan en iyi performans tahminini 0.77 ile yapan 1. grup 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonu olmuştur. En kötü performansı 0.42  $R^2$  değeriyle 2. grup 2 adet üyelik küme sayısına sahip trapmf2 vermiştir.

**Tablo 4.12.** Genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu (Generalized bell shaped membershid function, gbellmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları.

Grup	gbellmf2		gbellmf3		gbellmf4	
	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE
1	0.76	55.07	0.77	50.78	0.74	57.42
2	0.57	84.26	0.58	77.18	0.57	80.54
3	0.77	50.78	0.77	59.9	0.71	55.04

Tablo 4.12’da genelleştirilmiş çan eğrisi (generalized bell shaped, gbellmf) tercih edilerek, üyelik küme sayısı 2, 3 ve 4 seçilerek ANFİS modeli oluşturulmuştur. Performans tahmin sonuçlarının kıyaslamak için R<sup>2</sup> değerlerine bakıldığında 2 küme sayısına sahip üyelik fonksiyonundan 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonuna geçerken bir artışın olduğu fakat küme sayısını 4’ çıkardığımızda bir azalışın olduğunu görmekteyiz. 2. grup veri setine ait R<sup>2</sup> değerlerinde 2 ve 4 küme sayısına sahip üyelik fonksiyonlarında bir farklılık olmadığı 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonunda hafif bir artışın olduğu, 1. ve 3. grup veri setine ait R<sup>2</sup> değerlerinin yüksek MSE değerlerinin düşük olduğu görülmektedir. Modelde en iyi performans tahmini bulunan 0.77 R<sup>2</sup> değeriyle 2 ve 3 küme sayısına sahip 3. grup ve 3 küme sayısına sahip 1. grup gbellmf üyelik fonksiyonları olmuştur. En kötü tahmin sonucu 0.57 R<sup>2</sup> değeriyle 2 ve 4 küme sayısına sahip 2. grup gbellmf2 ve gbellmf4 üyelik fonksiyonları olmuştur.

**Tablo 4.13.** Gaussian (gaussian, gaussmf) üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen ANFİS test modellerinin sonuçları.

Grup	gaussmf2		gaussmf3		gaussmf4	
	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE	R <sup>2</sup>	MSE
1	0.76	55.07	0.76	53.70	0.75	55.63
2	0.54	24.68	0.58	13.96	0.57	17.18
3	0.76	53.38	0.76	57.16	0.72	57.50

Tablo 4.13’de gaussian (gaussian, gaussmf) tercih edilerek, üyelik fonksiyon küme sayısı 2, 3 ve 4 seçilerek ANFİS modeli oluşturulmuştur. Performans tahmin sonuçlarına bakıldığında 2. grup veri setine ait  $R^2$  değerlerinde küme sayısının artışına bağlı bir artış veya azalışın çok olmadığı ve düşük değer verdiği, 3 adet küme sayısına sahip üyelik fonksiyonunda hafif bir artışın olduğu, 1. ve 3. grup veri setine ait  $R^2$  değerlerinin yüksek fakat 3 adet üyelik küme sayısından 4 adet üyelik küme fonksiyonuna geçerken azalışların olduğu görülmektedir. Modelde en iyi performans tahmini bulunan 0.76  $R^2$  değeriyle 2 ve 3 küme sayısına sahip 1. ve 3. grup gaussmf üyelik fonksiyonları olmuştur. En kötü tahmin sonucu 0.54  $R^2$  değeriyle 2 küme sayısına sahip 2. grup gaussmf2 üyelik fonksiyonu olmuştur.

Oluşturulan 3 grup ANFİS modeline üçgen üyelik fonksiyonu (trimf), trapezoid üyelik fonksiyonu (trapmf), genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu (gbellmf) ve gaussian üyelik fonksiyon (gaussmf) metotları uygulanmıştır. Kullanılan bu üyelik fonksiyonlarında kullanılan küme sayısı değerleri 2, 3 ve 4 olarak seçilip kıyaslama imkanı bulunmuştur. 4 farklı üyelik fonksiyonu tipi ve 3 farklı üyelik fonksiyonu küme sayıları seçilerek toplamda 36 adet ANFİS modeli ortaya çıkmıştır. Ortaya çıkan sonuçları  $R^2$  ve MSE’leri hesaplanarak karşılaştırıldı. Bu karşılaştırma sonucunda ANFİS modelleri arasında genel anlamda en iyi tahmin performansı sergileyen üyelik fonksiyonu genelleştirilmiş çan eğrisi üyelik fonksiyonu tipinin diğer 3 üyelik fonksiyonu tiplerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. JGR tek başına kullanıldığında tahmin performansı oldukça düşük çıkmasına rağmen JU ile birlikte kullanıldığında en iyi tahmin sonucunu verdiği görülmüştür. En iyi tahmin performansını JGR ve JU girdi olarak kullanılan gbellmf olmuştur.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmamızın ana teması açılan radyoaktif kuyulardan kesilen uranyum cevheri rezerv hesaplamasında kullanılan ppm değerinin gerçeğe en yakın sonucunu en kısa zamanda ve en doğru şekilde bulunması olmuştur. Cevherin değeri kuyu bitiminde alınan radyoaktif jeofizik ölçüsü ve laboratuvara gönderilen karot numunelerinden elde edilen sonuçtan bulunur. Yapılan bu çalışmada iki yönteminde avantaj ve dezavantajları, eksiklikleri, yeterlilikleri veya yetersizlikleri anlatılıp çözüm yolu aranmıştır. Bu çözüm yolları aranırken elimizde bulunan sayısal değerleri kullanabileceğimiz istatistikî yöntemlerin doğru sonuçlara yönelteceği kanısına varıp günümüz dünyasında sıklıkla kullanılan geleneksel ve esnek hesap yöntemlerini kullanarak farklı bir bakış açısı oluşturduk. Bu amaçla geleneksel yöntem olan doğrusal regresyon analizi ve hemen hemen bütün meslek gruplarında kullanılmaya başlanmış olan esnek hesap yöntemlerinden olan YSA ve ANFİS yöntemlerini kullanarak karşılaştırma imkânı bulduk.

Radyoaktif hammadde aramaları esnasında yapılan sondajlarda alınan radyoaktif jeofizik ölçü ile laboratuvar verileri arasındaki nicel değerler konusundan sıklıkla karşılaşılan sorunları ve buna dönük uygulanabilecek geleneksel ve esnek hesap yöntemlerinin ne olabileceği ve bize ne kazandırabileceği çalışmamızda konu edilmiştir. Bu amaçla radyoaktif jeofizik ölçüsünde elde edilen jeofizik uranyum ve jeofizik gamma ray değerleri kullanılarak laboratuvar uranyum değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Uranyum değer tahmini amacıyla doğrusal regresyon analizi ve esnek hesaplama yöntemleri olan yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif sinirsel bulanık çıkarım sistemi (ANFİS) kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Uranyum değer tahmini için oluşturulan modellerde JU ve JGR girdi LU (gerçek uranyum değeri kabul edilip) çıktı olarak kullanılmıştır. Çalışmada 466 veri seti kullanılmıştır. Veri setinin 335 tanesi eğitim, 131 tanesi test verisi olarak rastgele seçilmişlerdir. Girdilerin birbiriyle kombinasyonu sonucunda 3 farklı grup ortaya çıkmıştır. Gruplarda ilk önce eğitim verileri kullanılarak modeller oluşturulmuş ve bu modellerin test verileri ile tahmin performanslarına bakılarak değerlendirilmiştir.



İlk önce geleneksel yöntemde basit ve çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılarak 3 model oluşturulmuştur. Sonrasında esnek hesaplama yöntemleri YSA ve ANFİS kullanılarak modeller oluşturulmuştur. YSA'da ileri beslemeli geri yayımlı ağ mimarisi seçilip, seçilen mimarinin eğitim için ise Levenberg –Marquardt (LM) öğrenme algoritması kullanılmıştır. Gizli katman için ikişer artacak şekilde 2'den 20'e kadar nöron sayısı kullanılarak toplamda 30 YSA modeli yapılmıştır. ANFİS'te üçgen, trapezoid, genelleştirilmiş çan eğrisi ve gaussian üyelik tipi fonksiyonları seçilip, üyelik fonksiyonu küme sayısı olarak da sırasıyla 2, 3 ve 4 atanarak toplamda 36 adet ANFİS modeli oluşturulmuştur. Ortaya çıkan model sonuçlarının tahmin performanslarını değerlendirmek amacıyla belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) ve ortalama karesel hata (MSE) kriterleri kullanılmıştır.

Tahmin performans kriteri olarak  $R^2$  ve MSE'nin kullanıldığı doğrusal regresyon analiz modellerinde laboratuvar uranyum değerini en iyi tahmin performansının girdileri jeofizik uranyum (JU) ve jeofizik gamma ray (JGR) olan çoklu girdi model elde etmiştir. Modelin eğitim veri seti belirlilik katsayısı 0,70, MSE değeri 29,58, test veri seti için belirlilik katsayısı 0,76, MSE değeri 42,38 değerleri elde edilmiştir. Tek girdi olan JU veri setinden oluşan modelimizde  $R^2$  değerimiz 0,70 olup iki girdili olan JUJGR modelimizle aynı değeri almasına rağmen MSE değerinin 29.72 olması belirleyici olmuştur. JU modelimiz en iyi modele çok yakın bir tahmin performansı vermesine karşın tek girdi olan jeofizik gamma ray modeli ortalamanın altında kalıp en kötü tahmin performansı veren modelimiz olmuştur.

Çalışmamız da esnek hesaplama yöntemlerinden YSA ve ANFİS kullanılmıştır. YSA'da kullanılan veri setinden 3 grup kullanılarak toplamda 30 model oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller incelendiğinde, regresyona benzer bir şekilde JUJGR olan 2 girdili model tahmin performansının en iyisi olduğu gözlenmiştir. Bunun yanında tek girdili JU modelinin en iyi modele yakın değerli olduğu JGU tek girdili modelin ise en kötü tahmin performansı verdiği görülmüştür. Modellerde  $R^2$  dikkate alınarak değerlere bakıldığında 1. grup olan JU tek girdili modelin tahmin performansı 0,64 – 0,75 arasında 2. grup olan JGU tek girdili modelin tahmin performansı 0,51 – 0,64 arasında 3. grup olan JUJGU çoklu girdili modelin tahmin performansı 0,57 – 0,77 olarak belirlenmiştir. Esnek hesap yöntemleri olarak kullanılan diğer bir yöntem ANFİS'de 36 model oluşturularak incelenmiştir. İncelenen modeller içinde en iyi tahmin performansını genelleştirilmiş çan eğrisinin verdiği

gözenmiştir. Modellerin geneline bakıldığında üyelik fonksiyonu 2'den 3'e yükseltirken tahmin performansında bir artış varken 3'den 4'e yükseldiğinde bu artışın pek olmadığı bazen de azaldığı modellere denk gelmiştir.

Modellerin tamamı karşılaştırılıp bir genelleme yapacak olursak, en iyi tahmin performansını sırasıyla ANFİS, YSA ve doğrusal regresyon analizi vermiştir. Oluşturulan modellerin tamamına yakını iyi tahmin sonuçları vermiştir. Kullanılan yöntemlerdeki veri setine bakıldığında en iyi tahmin sonucunu jeofizik uranyum değerinin kullanıldığı algoritmaların verdiğini bu değer esnek hesaplama yöntemleri kullanılarak çok iyi neticeler vereceğini gözlemledik. İleriki zamanlarda saha bazında yapılan çalışmalarda esnek hesap yöntemleri kullanılarak daha hızlı ve gerçeğe daha yakın uranyum ppm değerinin hesaplamasında bu yöntemler kullanılabilir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, Alçiçek, (2016). Nevşehir-Gülşehir kaynak rapor. MTA rapor.
- Alan, A., & Karabatak , M. (2020). Veri Seti-Sınıflandırma İlişkisinde Performansa Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimler Dergisi*, 32(2), s. 531-540.
- Arslan, K. (2020). Eğitimde Yapay Zeka ve Uygulamaları. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 11(1), s. 71-88.
- Arslan, K. (2020). Eğitimde Yapay Zeka ve Uygulamaları. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 11(1), s. 71-88.
- Atabey. E., Tarhan. N., Yusufoglu, H., Canpolat. M., 1988. Hacıbektaş, Gülşehir, Kalaba (Nevşehir)-Himmetdede (Kayseri) Arasının Jeolojisi, MTA Raporu, Derleme No: 8523 (yayımlanmamış), Ankara.
- Atalay, M. (2019). Kümeleme Analizi ile Türkiye'deki İllerin Turizm Verileri A Açısından İncelenmesi. *Ekonomi Maliye İşletme Dergisi*, 2(2), s. 103-115.
- Ataman. G. 1972. A Study on the Radiometric Age of Cefalıkdağ, One of the Granite Granodiorite Bodies Outcropping on the Southeast Ankara. *Hacettepe Science and Engineering Journal*, 2, 44-49.
- Ataseven, B. (2013). Yapay Sinir Ağları ile Öngörü Modellemesi. *Öneri Dergisi*, 10(39), s. 101-115.
- Bilge, U. (2007). Tıpta Yapay Zeka ve Uzman Sistemler. *Türkiye Bilişim Derneği Kongresi*, s.113-118.
- Çalışkan, F., Yüksel, H., & Dayık, M. (2016). Genetik Algoritmaların Tasarım Sürecinde Kullanılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 6(2), s. 21-27.
- Çelik, İ., Arslan, F., Tunç , R., & Yıldız, İ. (2021). İlaç Keşfi ve Geliştirilmesinde Yapay Zeka. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 45(2), s. 400-427.
- Elmas, Ç. (2003). *Yapay Sinir Ağları*, İstanbul, Türkiye: Seçkin Yayıncılık. (Öztemel, E. 2003).
- Emre, Güner (1985) Ürgüp-Avanos-Uçhisar (Nevşehir) Arasının Uygulamalı Jeomorfolojisi, Ankara: MTA Genel Müdürlüğü.
- Emeksiz, C., & Demir, İ. (2021). Farklı Regresyon Teknikleri Kullanarak Rüzgar Hızına Etkiyen Meteorolojik Parametrelerin İncelenmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 10(3), s. 100-110.
- Gök, M. (2017). Makine Öğrenmesi Yöntemleri ile Akademik Başarının Tahmin Edilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 5(3), s. 139-148.
- Göncüoğlu. M.C. 1986. Orta Anadolu Masifinin Güney Ucundan Jeokronolojik Yaş Bulguları, MTA Dergisi, 105/106, 111-124.

- Karaca, S. (2019). Orta Anadolu Bölgesi Radyoaktif Hammadde Aramaları Projesi. MTA rapor.
- Kızrak Ph.D. 2019. Veri odaklı yapay zeka.
- Metlek, S., & Kayaalp, K. (2020). Makine Öğrenmesinde, Teoriden Örnek Matlab Uygulamalarına Kadar Destek Vektör Makineleri . Ankara: İksad Yayınevi.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A. ve Vining G. G. (2013). *Doğrusal Regresyon Analizine Giriş* (Ö. V.Çilengiroğlu, Ö. G. Alma, B. Aşıkil, ve E. Bulut, Çev.). Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Neves, A., Gonzalez, I., Leander, J., & Karoumi. (2017). A New Approach to Damage Detection in Bridges Using Machine Learning. *In International Conference on Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures* (s. 73-84). Springer.
- Ok, Y. (2010). Adaptif Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemi(ANFIS) ile Türkiye’de Orta Dönemli Elektrik Enerjisi Talep Tahmini. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özçep, F., Orbay, N., (2002). Jeofizik ve Tarihsel Gelişimi
- Öztürk, K., ve Şahin, M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zeka’ ya Genel Bir Bakış, *Takvim-i Vekayi*, 6(2), 25-36.
- Öztürkcan, M. (2009). *Regresyon Analizi*, İstanbul: Maltepe Üniversitesi Yayınları.
- Pekiner, (2002). Kuyu Logları Tekniğiyle Yeraltının Keşfi. Seçkin yayınları.
- Sarıcaoğlu, C. (2019). *Sözcüksel Analiz Kullanarak Kötü Niyetli URL'leri Derin Öğrenme Teknikleri ile Tespit Etme*. (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E. ve Erler, M. (2003). *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları, Yapay Sinir Ağları*, Kayseri: Ufuk Yayınları.
- Seymen, İ. 1981. Kaman (Kırşehir) Dolayında Kırşehir Masifi'nin Stratigrafisi ve Metamorfizması, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24 (2), 7-14.
- Silarbi, S., Abderrahmane, B., ve Benyettou, A. (2014). Adaptive Network Based Fuzzy Inference System for Speech Recognition Through Subtractive Clustering, *International Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 5(6), 43.
- Tabak, D., & Atasoy, N. (2018). Destek Vektör Makineleri Kullanarak Yüz Tanıma Uygulaması Geliştirilmesi. *Engineering Sciences*, 13(2), s. 119-127.
- Tanyıldızı, H., & Yazıcıoğlu, S. (2006). Bulanık Mantık Metodu ile Tekil Yükler Altında İki Açıklıklı Kirişlerin Plastik Göçme Yük Faktörü Değerinin Bulunması. *Teknik Dergi*, 17(84),s. 3961-3971.
- Wanto, A., Fauzan, M., Suhendro, D., Parlina, I., Damanik, B. E., Siregar, P. A., ve Hidayati, N. (2018). Epoch Analysis and Accuracy 3 ANN Algorithm Using Consumer Price Index Datain Indonesia, *3rd International Conference of Computer, Environment, Social Science, Health Science Engineering and Technology*, 35.
- Yıldız, N., Akbulut, Ö. ve Bircan H. (2014). *İstatistğe Giriş* (Cilt. 9, ss.249.). Erzurum: Aktif Yayınevi.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı soyadı** : Hakan AKGÜL

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2005, SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2006-2023 yılları arasında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde mühendis olarak çalışıyor.

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Akgül, Yıldırım, Karaaslan, Karavul 2017. Radyoaktif jeofizik kuyu logu verileri ve rezerv değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2147-835X.