

Yeraltı Maden Ocaklarında Doğal Havalandırma Sisteminin Yapay Sinir Ağları ile
Değerlendirilmesi

Burcu DEMİR İROZ

DOKTORA TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim 2024

Evaluation of Natural Ventilation System in Underground Mines with Artificial Neural Networks

Burcu DEMİR İROZ

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Mining Engineering

October 2024

Yeraltı Maden Ocaklarında Doğal Havalandırma Sisteminin Yapay Sinir Ağları ile
Değerlendirilmesi

Burcu DEMİR İROZ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden İşletme Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Mustafa ÖNDER

Ekim 2024

ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi **Burcu DEMİR İROZ**'un DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Yeraltı Maden Ocaklarında Doğal Havalandırma Sisteminin Yapay Sinir Ağları ile Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mustafa ÖNDER

İkinci Danışman : -

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Mustafa ÖNDER

Üye: Prof. Dr. Melih İPHAR

Üye: Prof. Dr. Arzu ALTIN YAVUZ

Üye: Prof. Dr. Yaşar KASAP

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Şahin YUVKA

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma TÜMSEK

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Mustafa Önder danışmanlığında hazırlamış olduğum “Yeraltı Maden Ocaklarında Doğal Havalandırma Sisteminin Yapay Sinir Ağları ile Değerlendirilmesi” başlıklı DOKTORA tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yaralandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 15/10/2024

Burcu DEMİR İROZ

İmza

ÖZET

Yeraltı maden işletmelerinde havalandırma çalışanlar için uygun atmosferik koşulları oluşturmada kullanılan hayati bir unsurdur. Havalandırma mekanik, doğal ve bu ikisinin kombinasyonu ile gerçekleştirilir. Metan geliri olmayan yeraltı madenlerinde mevzuatımız gereği sadece doğal havalandırma kullanılabilmektedir. Doğal havalandırmanın gücüne etki eden faktörler ocağın giriş ve çıkış noktaları arasındaki kot farkı, hava sıcaklığı, basıncı, nispi nem ve rüzgâr hızı olarak söylenebilir.

Doğal hava akımının gücü dış atmosferik hava koşullarından direkt olarak etkilendiğinden dolayı mevsimlere göre değişkenlik göstermektedir. Bu durum ocak içi hava akış hızında ciddi farklılıklar oluşturmaktadır. Bu farklılıklar mevzuatımızda geçen hava hızı sınır değerlerinin altında kaldığında mekanik destek sağlanarak havalandırma gerçekleştirilmektedir. Tez kapsamında Çanakkale’de faaliyet gösteren bir metal madeninin 4 hava ölçüm istasyonundan 1080’er adet hava hızı değerleri alınmış ve bu hız değerleri ile meteorolojik veriler arasındaki ilişki Matlab yapay sinir ağları (YSA) modülü kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda kurulan farklı modeller içinde en yüksek korelasyonun ($R=0,8999$) meteorolojik veriler, aylar, hava yolu kesit alanı ve mevsim parametreleri kullanılarak elde edildiği görülmüştür.

En yüksek korelasyonun bulunduğu model parametrelerinin doğal hava hızına etki etme düzeyleri de SPSS programında YSA modülü kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan araştırma sonucunda her bir istasyon noktasında doğal hava akımına etki eden parametrelerin önem düzeyleri belirlenmiştir. Aylar ve sıcaklık parametrelerinin en önemli değişkenler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tamamen doğal yolla havalandırılan yeraltı madenlerinde doğal hava akışının aylık olarak değişkenlik gösterdiği, hava yolu kesit alanının hava hızı üzerinde etkili olduğu ve meteorolojik verilerden de sıcaklığın doğal hava akımının hızı üzerinde belirgin etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı havalandırma, doğal havalandırma, YSA, metalik madenlerde havalandırma, doğal havalandırmaya etki eden faktörler.

SUMMARY

Ventilation in underground mining operations is a vital component used to create proper atmospheric conditions for workers. Ventilation can be mechanical, natural, or a combination of both. In underground mines without methane emissions, only natural ventilation can be used according to our regulations. Factors affecting the strength and effectiveness of natural ventilation include the elevation difference between the mine's entrance and exit points, air temperature, pressure, relative humidity, and wind speed.

Since the strength of natural air flow is directly influenced by external atmospheric conditions, it varies with the seasons. This leads to significant differences in airflow rates within the mine. When these differences fall below the speed limits set by regulations, mechanical support is provided to ensure proper ventilation. In this study, airflow rate values were obtained from four measurement stations at a metal mine operating in Çanakkale, with 1080 measurements taken at each station. The relationship between these airflow rate values and meteorological data was investigated using the Matlab artificial neural networks (ANN) module. The research revealed that the highest correlation ($R=0.8999$) was achieved using meteorological data, months, airway cross-sectional area, and season as parameters.

The influence of the parameters with the highest correlation on natural airflow rate was also analyzed using the ANN module in the SPSS program. As a result of the research, the significance levels of the parameters affecting natural air flow at each station point were determined. It was concluded that months and temperature parameters are the most important variables. It can be concluded that in fully naturally ventilated underground mines, natural airflow varies monthly, the airway cross-sectional area significantly affects airflow rate and temperature from meteorological data has a distinct impact on the speed of natural airflow.

Keywords: Underground ventilation, natural ventilation, ANN, ventilation in metallic mines, factors affecting natural ventilation.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın yürütülmesinde, tezin gelişmesinde ve sonuçlanmasında önemli değerlendirmeler ve düzeltmeleri ile tüm katkıları için değerli tez danışmanım Prof. Dr. Mustafa ÖNDER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme jürisinde yer alan, olumlu yönlendirmeleri ile çalışmalarım sırasında karşılaştığım sorunların aşılmasında sağladıkları katkılarından dolayı değerli hocalarım Prof. Dr. Arzu ALTIN YAVUZ ve Prof. Dr. Melih İPHAR'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca, katkılarından dolayı Prof. Dr. Seyhan ÖNDER'e, Çanakkale Madencilik A.Ş. yöneticilerine, meslektaşım ve değerli arkadaşım Betül ORDU ÜRET'e, Maden Mühendisi Sinan ARSLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Yeryüzünde bana cenneti yaşatan anneme ve bana her daim yol gösteren merhum babam Mehmet DEMİR'e, mesleği seçmeme vesile olan ve yolumu aydınlatan ablam ve abim Ülkü ve Atilla SÜER'e, üzerimde emekleri sonsuz olan ablalarım Elif TEKE ve Nesrin DEMİR DURUER'e ve son olarak oğlum Mehmet İROZ ve eşim İsmail İROZ ile ailesine sabırları ve destekleri için çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. MADENLERDE HAVALANDIRMA	10
3.1. Türkiye’de Yeraltı Madenlerinde Kullanılan Havalandırma Türleri	13
3.2. Doğal Havalandırma	15
3.3. Doğal Havalandırmaya Etki Eden Faktörler	16
3.4. Doğal Havalandırmanın Özellikleri	17
3.5. Doğal Havalandırmanın Akış Yönü	18
3.6. Doğal Havalandırma Basıncının Hesaplanması	20
3.6.1. Yoğunluk farkına göre hesaplama	20
3.6.2. Sıcaklık farkına göre hesaplama	21
3.7. Doğal Havalandırma Miktarının Belirlenmesi	22
3.8. Doğal Havalandırmanın Karakteristik Eğrisi	22
4. İŞLETMENİN TANITIMI	24
4.1. Jeolojik Yapı.....	25
4.1.1. Karaömerler bazaltı (Tkb)	27
4.1.2. Dededağ dasiti (Tdd)	28
4.1.3. Adadağı piroklastikleri (Tad)	28
4.1.4. Akçaalan volkanitleri (Taa)	29
4.2. 5.Viraj Ocağı.....	31
4.3. 5.Viraj Bölgesi Pb-Zn Cevherleşmeleri	31
4.4. Yeraltı Üretim Yöntemi ve Rezerv	33
4.5. Seçilen İşletmenin Havalandırma Bilgileri	35

İÇİNDEKİLER

Sayfa

5. YÖNTEM VE TEORİK BİLGİ	37
5.1. YSA'nın Tanımı	38
5.2. YSA'nın Tarihsel Gelişimi	39
5.3. YSA Bileşenleri ve Yapısı.....	39
5.3.1. Biyolojik nöron	40
5.3.2. Yapay nöron.....	41
5.3.3. YSA'nın yapısı	42
5.4. YSA'nın Sınıflandırılması.....	43
5.4.1. Yapılarına göre YSA çeşitleri	43
5.4.2. Öğrenme algoritmalarına göre YSA çeşitleri	44
5.4.3. Kullanılan veri türlerine göre YSA çeşitleri.....	45
5.5. YSA'nın Eğitilmesi ve Testi.....	45
5.5.1. YSA'nın eğitimi.....	46
<u>5.5.1.1. Eğitim parametreleri</u>	46
<u>5.5.1.2. Öğrenme kuralları</u>	46
5.5.2. YSA'nın doğrulaması	47
5.5.3. YSA'nın testi	48
5.5.4. YSA'nın iyileştirilmesi	48
5.6. YSA Modelleri	48
5.6.1. Çok katmanlı algılayıcı	49
5.6.2. Elman ağırları	49
5.6.3. Olasılıksal sinir ağırları.....	50
5.7. YSA Özellikleri.....	50
5.8. YSA'da Kullanılan Paket Programlar	51
5.9. YSA Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	52
5.10. Uyum İyiliği Testleri.....	52
5.10.1. R Korelasyon Katsayısı	53
5.10.2. Mean Square Error (MSE)	53
5.10.3. Root Mean Square Error-RMSE	54

İÇİNDEKİLER

Sayfa

6. YSA’NIN DOĞAL HAVALANDIRMA TAHMİNİ İÇİN KULLANILMASI.....	55
6.1. Veri Analizi	55
6.2. Matlab Kullanılarak YSA ile Hava Hızı Tahmini	59
6.2.1. Matlab’ da YSA ile istasyon 1 için ocak içi hava hızı tahmini.....	62
6.2.2. Matlab’ da YSA ile istasyon 2 için ocak içi hava hızı tahmini	65
6.2.3. Matlab’ da istasyon 3 için ocak içi hava hızı tahmini	68
6.2.4. Matlab’ da YSA ile 4 nolu istasyon için ocak içi hava hızı tahmini	71
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	75
7.1. SPSS’ de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyon 1 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi.....	76
7.2. SPSS’ de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyonu 2 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi.....	78
7.3. SPSS’ de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyon 3 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi.....	80
7.4. SPSS’ de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyon 4 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi.....	82
7.5. Tahmin Edilen ve Ölçülen Veriler Arasındaki Uyum	84
7.6. Matlab-SPSS Analizi Sonucunda Yapılan Uyum İyiliği Tablosu ve Etki Eden Parametrelerin İstasyonlara Göre Önem Düzeyleri Grafiği.....	87
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR DİZİNİ	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yeraltı işletmelerinde maden cinsi dağılımı	13
3.2. Yeraltı metal işletmelerinde maden havalandırma türleri	14
3.3. Madenlerde doğal ve mekanik havalandırılan işletmelerde ekonomik ömür	15
3.4. Doğal havalandırmada kot farkının etkisi	16
3.5. Temel doğal havalandırma sistemlerinde akış yönünü belirlenmesi (Yalçın, 2012)	19
3.6. Kuyubaşları farklı seviyedeki ocakta doğal havalandırma basıncı.	21
3.7. Doğal havalandırma karakteristik eğrisi	23
4.1. Yer bulduru haritası (2023, Çanakkale Madencilik)	24
4.2. Kuru maden sahasındaki cevher yatakları	25
4.3. İnceleme alanının stratigrafik sütun kesiti (Bozkaya ve Gökçe, 2001)	27
4.4. İşletme ruhsat alanının ve çevresinin genelleştirilmiş düşey kesiti (Atabey vd., 2004)	30
4.5. İşletmeye ait ocak girişi görüntüsü	31
4.6. Örnek işletmeye ait cevherleşme ve mineralizasyon özellikleri	33
4.7. İşletmeye ait havalandırma planı	36
4.8. 5. Viraj Ocağı hava ölçüm istasyon noktalarının kotları	36
5.1. Veri bilimi tekniklerinin genel şemsiyesi (Choi vd., 2020)	38
5.2. Biyolojik nöronun yapısı (Nabiyev, 2003)	41
5.3. Yapay nöronun yapısı (Öztemel, 2016)	42
6.1. 2 no'lu hava ölçüm istasyonu	58
6.2. Anemometre ile hava hızı ölçümü	58
6.3. Hava ölçüm istasyonları için YSA' nın şematik gösterimi	62
6.4. İstasyon 1 için ağırlık performans grafiği	63
6.5. İstasyon 1 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı	63
6.6. İstasyon 1 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları	64
6.7. Tüm verilerin istasyon 1 için oluşturduğu regresyon diyagramı	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.8. İstasyon 2 için ağın performans grafiği	66
6.9. İstasyon 2 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı.....	67
6.10. İstasyon 2 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları	67
6.11. Tüm verilerin istasyon 2 için oluşturduğu regresyon diyagramı	68
6.12. İstasyon 3 için ağın performans grafiği	69
6.13. İstasyon 3 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı.....	70
6.14. İstasyon 3 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları	70
6.15. Tüm verilerin istasyon 3 için oluşturduğu regresyon diyagramı	71
6.16. İstasyonu 4 için ağın performans grafiği	72
6.17. İstasyon 4 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı.....	73
6.18. İstasyon 4 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları	73
6.19. Tüm verilerin istasyon 4 için oluşturduğu regresyon diyagramı	74
7.1. SPSS 'de YSA analizi yapılırken alınan ekran görüntüsü	75
7.2. İstasyon 1 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı	77
7.3. İstasyon 1 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği	78
7.4. İstasyon 2 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı	79
7.5. İstasyon 2 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği	80
7.6. İstasyon 3 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı	81
7.7. İstasyon 3 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği	82
7.8. İstasyon 4 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı	83
7.9. İstasyon 4 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği	84
7.10. İstasyon 1 için uyum grafiği	85
7.11. İstasyon 2 için uyum grafiği	85
7.12. İstasyon 3 için uyum grafiği	86
7.13. İstasyon 4 için uyum grafiği	86
7.14. Doğal hava akımına etki eden parametrelerin istasyonlara göre önem düzeyleri	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Cizelge

Sayfa

3.1. Yeraltı çalışma ortamında meydana gelen tehlikeler ve kontrolünde rol oynayan faktörler	12
3.2. Şekil 3.5'in açıklaması	19
6.1. 2019-2022 yılları arası meteorolojik veriler	56
6.2. Maden ocağı hava hızı ölçümleri.....	57
6.3. Hava durumu ve ay verileri ile hava hızı tahmini	59
6.4. Hava durumu, ay ve hava yolu kesit alanı verileri ile hava hızı tahmini	60
6.5. Hava durumu ve hava yolu kesit alanı verileri ile hava hızı tahmini	60
6.6. Hava durumu, rüzgâr yönü ve hava yolu kesit alanı ile hava hızı tahmini.....	61
6.7. Hava durumu, ay, hava yolu kesit alanı ve mevsim ile hava hızı tahmini.....	61
6.8. İstasyon 1 için YSA performans bilgileri	62
6.9. Hava istasyonu 2 İçin YSA performans bilgileri.....	66
6.10. Hava istasyonu 3 İçin YSA performans bilgileri.....	69
6.11. Hava istasyonu 4 İçin YSA performans bilgileri	72
7.1. Hava istasyonu 1-2-3-4 için SPSS-YSA performans bilgileri.....	76
7.2. İstasyonu 1 için hava hızı önem dereceleri.....	77
7.3. İstasyonu 2 için hava hızı önem dereceleri.....	79
7.4. İstasyon 3 için hava hızı önem dereceleri.....	81
7.5. Hava istasyonu 4 için hava hızı önem dereceleri	83
7.6. Tüm istasyonlar için uyum iyiliği tablosu	87

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ocaklarda; sağlığa uygun solunabilir hava sağlanması, ortamdaki patlama riskinin ve solunabilir toz konsantrasyonunun kontrol altında tutulması, kullanılan çalışma yöntemi açısından çalışanların fiziki faaliyetleri dikkate alınarak çalışma şartlarına uygun hava özelliklerinin sağlanması ve bu durumun sürdürülebilmesi için sürekli havalandırma yapılması zorunludur. Yeraltı maden işletmelerinde havalandırma doğal yolla, vantilatör yardımıyla ve her ikisinin bir arada kullanılması ile olmak üzere üç şekilde mümkün olmaktadır. Vantilatörlerin sahip olduğu mekanik özellikler havanın dolaşım hızı ve gücü ile ilgili parametrelerin kontrol edilebilirliğini sağlar. Öte yandan doğal havalandırmanın oluşmasına neden olan bazı parametreler bulunmaktadır. Bu iki havalandırma çeşidinin aynı görevi sağlamasına rağmen; doğal havalandırmanın değişkenlik göstermesi onun hesaplanabilirliğinde farklı kriterler kullanımını ortaya çıkarır.

Doğal havalandırma birçok parametrenin etkisi altında değişkenlik gösterebilir. Bu parametrelerden en önemlileri; kot farkı, yoğunluk farkı ve sıcaklık farkı olarak sıralanabilir. Bu parametrelerin etkisi altında olan hava debisi ve yönü mevsimlere ve hatta günün farklı saatlerine göre değişkenlik gösterebilir. Bu durumda meydana gelebilecek değişiklikleri önceden tahmin ederek gerekli düzenlemeleri yapmak oldukça önemlidir. Doğal havalandırmanın tek başına kullanıldığı bir ocakta hava akımındaki azalma oksijen yetersizliği başta olmak üzere zararlı toz ve gaz konsantrasyonlarının birikmesine kadar oldukça tehlikeli koşullar oluşturabilir. Fazla hava akımı ise çökmüş halde bulunan tozların ocak atmosferine tekrar karışmasına sebep olurken, çalışanların da yüksek hızlı hava akımına maruz kalmalarına sebep olabilir. Mevzuat gereği yeraltı ocaklarındaki hava hızının 0,5-8 m/s aralığında yer alması da şarttır.

Bir yeraltı işletmesinde doğal havalandırma şiddetinin tek başına yeterli olup olamayacağı ve ayrıca vantilatörlerle desteklenmesi gerekliliğinin değerlendirilmesi hayati öneme sahiptir. Tez konusu kapsamında, doğal yolla havalandırılan bir yeraltı ocağındaki koşullar Matlab programının YSA modülü ile değerlendirildikten sonra, SPSS programının YSA modülü ile de doğal havalandırmaya etki eden faktörlerin önem dereceleri değerlendirilmiştir.

Çalışmanın 2. bölümünde konuyla ilgili geçmişte yapılmış çalışmalar incelenerek tez konusunun önemi diğer araştırmacıların yapmış olduğu araştırma sonuçları değerlendirilerek ortaya konmuştur.

Çalışmanın 3. bölümünde yeraltı madenlerinde havalandırma ve doğal havalandırma ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Doğal havalandırmanın oluşmasında etkili olan faktörler açıklanmıştır. Doğal havalandırmanın hesaplanma süreci hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın 4. Bölümünde işletmenin tanıtımı, jeolojik yapısı, üretim yöntemi ve havalandırma ile ilgili ile ilgili genel bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın 5. Bölümünde YSA detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Yöntemin temel özellikleri, YSA türleri, eğitimi, uygulama adımları ve YSA' da kullanılan paket programlar hakkında bilgilere yer verilmiştir. YSA analizleri değerlendirilirken kullanılan uyum iyiliği analizleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın 6. Bölümünde doğal havalandırma verileri Matlab programı ile analiz edilmiştir. Her bir ölçüm istasyonu için tahminler yapılmış ve tahminler analiz edilmiştir.

Çalışmanın 7. bölümünde SPSS paket programında YSA modülü kullanılarak doğal havalandırmaya etki eden faktörlerin önem dereceleri ortaya konulmuştur. Matlab-SPSS analizi sonucunda yapılan uyum iyiliği tablosu bu bölümde yer almaktadır.

Çalışmanın 8. bölümünde tez çalışmasında kullanılan yöntem, çalışmada ulaşılan genel sonuçlar ve değerlendirmeler ortaya konmuştur. Tez kapsamındaki araştırma sonucunda ulaşılan genel sonuçlar maddeler halinde açıklanmıştır. İleride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Doğal havalandırmanın ölçülmesi ve değerlendirilmesinde bugüne kadar deneysel analizler, sürekli izleme teknolojileri, matematiksel denklemler gibi bazı yöntemler uygulanmıştır. Literatürde kullanılan yöntemler, yöntemlerin uygulanmasında kullanılan değişkenler ve bu değişkenlerin doğal havalandırmaya etkileri aşağıda açıklanmıştır.

Karacan (2007), çalışmasında Güneybatı Pensilvanya'daki Kuzey Appalachians Havzası'nın Pittsburgh kömür yatağı madenlerini incelemiştir. Kömür yatağı ve işletme parametrelerine dayalı olarak; madene metan giriş miktarını ve bu sayede madende olması istenen metan seviyesini (%1'in altında) korumak için hava hızı gereksinimlerini tahmin etmiştir. Havalandırma gereksinimleri için bir optimizasyon aracı olarak YSA'nın geliştirilmesi ve uygulanması üzerine çalışılmıştır. Girdi parametreleri olarak; ölçüm alınan aylar, hava akış hızı, metan konsantrasyonu, madencilik ilerleme hızı, madene girişlerin uzunluğu ve kömür kalınlığı ele alınmıştır. Sonuç olarak farklı kömür yatağı parametrelerinin hava akışı hızı gereksinimleri ve metan girişleri üzerindeki etkilerini tanımlamak için YSA ile benzetim yöntemi kullanılarak diğer kömür yataklarına genelleştirilebileceği belirtilmiştir.

Ruilin ve Lowndes (2010), hata ağacı analizi ve yapay sinir ağı çözüm algoritmasının birleştirilmiş uygulamasına dayanan bir tahmin yöntemi kullanmışlardır. Yerindeki kömür tabakası gaz içeriği faktörleri ile jeolojik koşullar arasındaki ilişkileri çözerek kömür ve gaz patlaması olaylarının potansiyel riskini belirlemişlerdir. İlk olarak, hata ağacı analiz modeli kullanılarak çeşitli gaz içeriği, jeolojik ve jeoteknik faktörlerin kömür ve gaz patlaması olaylarının oluşumuna olan katkıları sıralı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu parametreler, yüksekten düşüğe doğru sıralanmıştır. En yüksek sıralamaya sahip parametreler seçilerek baskın parametre seti oluşturulduktan sonra bu set, bir yapay sinir ağı modelinin giriş değişkenleri olarak kullanılmıştır. Bu ön analiz yöntemi, baskın parametreleri belirlemek için kullanıldığında, yapay sinir ağı modelinin hesaplama hızını büyük ölçüde artırmıştır. Seçilen çözüm parametre setinin boyutları, yöntemin kullandığı sayısal çözüm matrislerinin boyutlarını önemli ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca, yazarlar, vaka çalışması araştırmasının kömür madeni tarafından yaşanan bazı jeolojik ve jeoteknik koşulları tanımlamak için nicel

bir sıralama da geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu nicel sıralama yöntemi ile daha doğru ve hızlı şekilde çözüme ulaşılmıştır.

Yu vd. (2013), seçtikleri 13 madenin 4'ü metal, 9'u metal olmayan maden olmak üzere, saha ölçümleri aracılığıyla doğal havalandırma analizi yapmışlardır. 13 madenin 7'sinde, kısmen fan kullanılarak mekanik havalandırma sistemi uygulanırken, diğer 6 madende doğal havalandırmayla çalışılmaktadır. Bunu temel alarak her bir madenin doğal havalandırma gücünü nicel olarak belirlemişlerdir. Ayrıca, madenlerin derinleşebileceği varsayılarak doğal havalandırma enerjisinin (NVE) değişimini ve doğal havalandırma basıncını (NVP) tahmin ederek ve bu değerleri galeri koşullarına uygulayarak akış değişimini gözlemlemişlerdir. Yerel madenlerin doğal havalandırma gücü 5 ile 300 Pa aralığında hesaplanmıştır. Madenler derinleştikçe, NVP sıcaklık farkına bağlı olarak artar. Ancak, direnç de arttığından NVP ve galeri direnci arasındaki ilişkiye göre; maden derinleştikçe akışın sabit bir değere yaklaştığı görülmüştür. 200 ila 300 metre derinlikte, dikey galerilerle yapılan doğal havalandırmanın etkili olduğu, ancak 200 ile 300 metreden sonra NVP'ye bağlı akış değişim oranının önemsizleştiği, bu nedenle 300 metreden fazla derinleşme gerçekleştirilirse, doğal havalandırma basıncı yetersiz kaldığından ek basınç için mekanik havalandırmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

Kazakov vd. (2015), potas madeninde ana vantilatörün durdurulmasından sonra doğal hava akımının mevsimlere göre deneysel araştırmalarının sonuçlarını analiz etmişlerdir. Hava giriş ve çıkışları eşit kot yüksekliğinde olan bu madenin ana fanının durdurulmasından sonra, madende bakım çalışmaları için yeterli doğal havalandırmanın sağlanması için dış hava sıcaklığı 8-12 °C aralığında olması gerektiği tespit edilmiştir. Eğer dış hava sıcaklığı aşırı yüksek (20 °C) veya düşük (-2 °C) ise, madendeki doğal havalandırmanın kısa bir süre içinde sona erdiğini gözlemlemişlerdir. Bu şekilde doğal havalandırmanın devamlılığının hava sıcaklığına doğrudan bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Nikolaev vd. (2017), yeraltı madenlerinde maden hava yollarında termal basıncın doğal havalandırmaya etkisini araştırmışlardır. Madenin doğal hava akımının değeri, hava yolları arasındaki termal basınçların cebirsel toplamı olarak belirlendiğinde, yeraltı madenine gerekli hava hacmi havalandırma için minimum enerji maliyetleriyle

sağlanabilirliğini ifade etmişlerdir. Doğal havalandırma ve mekanik havalandırma kombinasyonu ile havalandırılan madenlerde gerçekleştirilen benzer çalışmalarda, doğal havalandırmanın etkisini yıl boyunca göz önünde bulundurarak, mekanik havalandırma sisteminin işletim modunun değiştirilmesiyle güç tasarruf modunun ayarlanabileceği belirtilmiştir.

Haanes ve Rudjord (2018), Toryum açısından zengin bir maden kompleksinin doğal havalandırılması ile ilgili yaptıkları çalışmada meteorolojik verileri içeren istatistiksel analizlerle, dış ortam sıcaklığının hava akışını etkileyen ana faktör olduğunu belirlemişlerdir. Madenlerin havalandırılmasının drenaj havalandırmasına benzediğini, ancak diğer hava değişkenlerinin de katkıda bulunabileceğini öne sürmüşlerdir. Sıcak yaz aylarında, madenlerin içindeki daha soğuk ve yoğun havanın, alçak arazide bulunan drenaj borusundan çıktığını; kış mevsiminde, atmosfer sıcaklığı maden içindeki hava sıcaklığından daha düşük olduğu için, drenaj borusundaki hava akışının yönü madenin içine doğru yöneldiğini belirlemişlerdir.

Lyalkina vd. (2019), madenlerdeki hava yolları arasındaki doğal havalandırma basıncının gücünü etkileyen üç ana faktöre değinmişlerdir. Bunlar; madenlerdeki gaz emisyonu (diğer gazların konsantrasyonundaki değişiklik nedeniyle hava yoğunluğu değişiklikleri), havalandırma yolu hava parametrelerinin (basınç ve sıcaklık) değişimi ve üretime göre değişen ana vantilatör basıncı olarak belirtilmiştir. Meteorolojik tahminlerden elde edilen hava parametrelerinin bu formüllere dahil edilebileceği basınç ve sıcaklığın doğal havalandırma basınç değeri üzerindeki etkisini ayrı ayrı belirlenebileceğini ifade etmişlerdir. Bu tahminlerin doğruluğunun %85-90 olduğunu belirtmişlerdir.

Mathatho vd. (2019), çalışmalarında, bir yeraltı kömür madenindeki metan seviyelerini tahmin etmek için bir YSA modeli geliştirilmişlerdir. Sistem, geçmiş verileri kullanarak bir yapay sinir ağı (YSA) eğitmiş ve metan seviyelerini tahmin etmiştir. Denetimli öğrenme yöntemi kullanılarak dört algoritma (Levenberg - Marquardt, gradyan iniş, ölçeklenmiş konjugant gradyan ve esnek geri yayılma) ile YSA eğitilip karşılaştırılmıştır. Levenberg - Marquardt (LM), değerlendirilen yöntemler arasında en güvenilir algoritma olarak görülmüştür. Tahmin performansı, ortalama kare hatası (MSE) ve

kök ortalama kare hatası (RMSE) dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Gizli katman nöron sayısının seçimi, eğitim performansı ile aşırı uyum sorunlarını dengelemek için ele alınmıştır. YSA tekniklerinin metan seviyelerini kabul edilebilir bir doğrulukla tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Tong vd. (2020), kömür madenlerinde doğal havalandırma basınç değişiminin sürekli izlenmesine yönelik bir yöntem önermişlerdir. Her maden alanının ve her hava tedarik noktasının doğal hava basıncının farklı olabileceği, bunun da her maden alanının ve lokal hava tedarik noktasının hava hacmi üzerindeki etkisinin farklı olmasına neden olacağını belirtmişlerdir. Örnek işletme olan Panyi Madeninde doğal havalandırma basıncının genel eğilimi kışın yüksek, yazın düşük olduğunu, bir günde doğal havalandırma basıncının da periyodik olarak değiştiğini, doğal havalandırma basıncı sabah 6:00 ile 7:00 arasında maksimum olduğunu daha sonra saat 17:00 ile 18:00 arasında minimuma düştüğünü; normal hava koşullarında, bir günde doğal havalandırma basıncının değişim aralığı 120-180 Pa olduğunu; hava durumu anormal olduğunda, bir günde doğal havalandırma basıncının değişim aralığı 350 Pa olduğunu yapılan basınç ölçümleri ile gözlemlemişlerdir. Vantilatör kanat açısını düzenli olarak ayarlayarak, doğal havalandırma basıncının mevsimsel değişiminin maden havalandırmasına olan etkisi ortadan kaldırılabilceği sunucuna varmışlardır.

Prince (2021), yapay zekâ kullanarak havalandırma sistemlerinin enerji verimliliğine etkilerini incelemiştir. Madenlerde küresel enerji politika belirleyicilerinin ana odak noktasının, havalandırma sisteminde enerji verimliliğini artırmak olduğu noktasından yola çıkmıştır. Vantilatör seçimi, vantilatör motorunun çalışma prensipleri incelenmiş; hava akış tahmini için YSA, destek vektör makinaları, bulanık mantık gibi öğrenme ve tahmin yöntemleri ayrı ve birlikte olacak şekilde denenmiştir. Çalışmada değişken frekans sürücülerini kullanarak havalandırma sistemi hızının kontrol edilmesiyle önemli enerji tasarrufu sağlanabileceği ifade etmiştir. Havalandırma sisteminde motor ve bileşenlerinin doğru bir şekilde kullanılmasıyla enerjide yaklaşık %20-%30'u tasarruf edilebileceği belirtmiştir.

Hong vd. (2022), yeraltı madenciliğinde yangın oluşumunda duman hareketinin hızlı tahmini için makine öğrenimi hakkında çalışmalar yapmışlardır. Farklı havalandırma, termal ve geometrik koşullar altında, üç boyutlu bir yeraltı madeninde olası bir yangın problemi 1000 farklı durum için süper hesaplama teknolojisi kullanılarak sayısal olarak modellenmişlerdir. Özellikle, rastgele orman (RF) ve destek vektör makinesi (SVM) modellerinin, yangın dumanının geri akışının oluşup oluşmayacağını tahmin etmede en iyi performansa sahip olduğu görülmüş, YSA modelinin geri katman uzunluğunu tahmin etmede en iyi performansı sergilediği belirtilmiştir. Havalandırma hızının ve eğim açısının, havalandırma, termal ve geometrik koşulların incelenen aralıkları altında en kritik faktörler olduğu ifade edilmiştir. Sayısal modelleme ve tahmindeki yüksek performansı nedeniyle, süper hesaplama ve makine öğreniminin birleştirildiği yöntemin yeraltında oluşabilecek yangın olaylarının hızlı tahmini için yeni ve verimli bir yol sağladığı tespit edilmiştir.

Brodny vd. (2022); yeraltı kömür madenciliğinde, üretim süreci sırasında metan tehlikesini öngörmek için nöro-bulanık model kullanmışlardır. Yöntemde gerçek havalandırma parametrelerinin ölçüm sonuçlarını kullanarak, işletme alanındaki metan tehlikesinin tespiti (bulanık model) ve tahminini (nöro-bulanık model) sağlayan bir nöro-bulanık model ile çalışılmıştır. Geliştirilen modeller ile belirlenen madencilik alanında kısa vadeli metan hassasiyetinin tahmin edilerek kontrol edilebileceği ön görülmüştür. Sonuçta bulanık modelin kömür madenlerinde meydana gelen karmaşık havalandırma süreçlerini başarılı bir şekilde modelleyebileceği ve bu süreçlerin güvenliğini doğrudan etkileyebileceği belirtilmiştir.

Derin metal madenlerindeki soğutma havalandırma sisteminin enerji verimliliği, ısı akış yöntemi ve YSA ile Wang vd. (2023) tarafından modellenmiştir. Optimizasyondan sonra toplam pompa güç tüketiminin %25,79 azaldığı böylece sistem enerji kullanımını önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir. Hava soğutucusunun giriş sıcaklığı, vantilatör frekansı ve soğutma kulesinin giriş sıcaklığının sistem gücü üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bu bulgular, derin metal madenlerindeki soğutma havalandırma sistemlerinde enerji tasarrufu ve tüketim azaltma konusunda rehberlik sağlayabileceği ifade edilmiştir.

Ray vd. (2023), Hindistan'daki yeraltı metalik madenlerinde dizel motorlarından kaynaklanan partikül maddesi (DPM) emisyonlarının duyarlılık analizi ve tahmini üzerine çalışmışlardır. Regresyon ve makine öğrenimi algoritmaları kullanarak, emisyonların etkileyen faktörleri belirlenmiş ve emisyon seviyeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada, hava girişinden uzaklık, havalandırma hava hızı ve kaynak emisyon konsantrasyonu gibi mekânsal faktörlerle DPM konsantrasyonlarının doğrudan ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır. DPM konsantrasyonları ile parametreler arasındaki en iyi ilişkilerin, YSA ile %0,986 R^2 değeriyle kurulabileceğini belirtmiştir.

Akdaş ve Fişne (2023), makine öğrenimi teknikleri kullanılarak kömür tabakasındaki gaz içeriğinin tahmini için veri odaklı bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Rezerv ve gaz içeriği analizi sırasında toplanan karot örnekleri, derinlik, nem, kül, uçucu madde ve ısı değeri gibi kömür özellikleri verileriyle beslenen makine öğrenimi modellerine girdi olarak kullanılmıştır. Kömür yatağındaki kömür tabakalarının toplam desorbe gaz içeriğini tahmin etmek için çoklu doğrusal regresyon, destek vektör makinesi ve yapay sinir ağı kullanılmış; makine öğrenimi modelleri, hiperparametre ayarlama kullanılarak optimize edilmiş ve en başarılı model, regresyon ve hesaplama maliyeti performansına dayanarak seçilmiştir. Sınırlı veri noktalarıyla oluşturulan makine öğrenme (ML) modelleri kömür gaz içeriğini tahmin etmek için oluşturulabileceği ancak doğrulukları nispeten zayıf olabileceği belirtilmiştir.

Ihsan vd. (2024), yeraltı madenlerinde bulanık yapay zekâ (nöro-fuzzy) modelleri kullanarak yaptıkları havalandırma ile ilgili çalışmada talep üzerine havalandırmadan (VOD) bahsetmişlerdir. Çalışmada, gerçek zamanlı sensörler, veri ve adaptif bir nöro-bulanık çıkarım sistemini (ANFIS) entegre eden her iki yönü de dikkate alan AI tabanlı VOD 'u araştırmışlardır. Dinamik havalandırma parametreleri gerçek zamanlı sensörlerle algılanarak ve doğrudan buluta gönderilerek uzaktan analiz edilebilir hale getirilmiştir. Her iki model de iyi sonuçlar vermiş ve sırasıyla 0,84 ve 0,96 olan belirleme katsayıları (R^2) değerleri bulunmuştur. Önerilen VOD, laboratuvar deneylerine dayanarak vantilatörün enerji tüketiminin %43'e kadar azaldığını tespit etmişlerdir.

Zhang vd. (2024), yaptığı çalışmayla yeraltı madenlerinde patlatmayla açığa çıkan toksik dumanların tahliye zamanını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Sayısal simülasyon

süresini azaltmak ve havalandırma tasarımını optimize etmek için Geri Yayılım Sinir Ağı (BPNN) modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelleri eğitmek ve test etmek için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) yöntemi ile 125 simülasyon kullanmışlardır. Model performansını değerlendirmek için belirleme katsayısı (R^2), Açıklanan Varyans (VAF), Willmott İndeksi (WI), Karekök Ortalama Kare Hata (RMSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE) ve Kareler Toplamı Hatası (SSE) kullanılmıştır. Değerlendirme sonuçları, CirHBA-BPNN modelinin en tatmin edici performansı elde ettiğini belirtmişlerdir. Rüzgâr hızının (W_v), toksik dumanların çıkış zamanını tahmin etmek için en önemli özellik olduğu belirtilmiştir. Sığ yerlerde bulunduğu durumlarda sıcaklığın önem puanının diğer giriş özelliklerinden daha düşük olduğu gözlemlenirken; madende derinlik arttıkça, gaz tahliye zamanı üzerinde belirgin sıcaklık değişikliklerinin etkisinin önemli olduğu ifade edilmiştir.

Anani vd. (2024), yeraltı madenlerinde kömür ve gaz patlaması tahmini için makine öğrenimi tekniklerini kullanmışlardır. Patlama potansiyelinin tahmininde, kömür ve gaz patlaması riski ile ilişkilendirilen değişkenler etrafındaki belirsizliğin bütünleşmesine vurgu yapılması gerektiğini önermişlerdir. Madencilikte farklı ortamlarda ML (Makine Öğrenmesi) tahmin modellerinin uygulanabilirliğini ve genelleştirilebilirliğini daha iyi anlamak için araştırmacılar aynı ML modelini farklı ülkelerdeki çeşitli kömür madenlerinden farklı veri kümelerine uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

3. MADENLERDE HAVALANDIRMA

Yeraltı maden ocakları yeraltı yapılarının açılarak yerkürenin derinliklerine inildiği, dolayısıyla açık havanın bulunmadığı ortamlardır. Buralarda insanların çalışabilmeleri için yeterli miktarda havanın gönderilmesi gerekir. Ocak havasının uygun kalitede olması da gerekmektedir. Yeraltı ocaklarına yeterli miktarda ve uygun kalitede hava gönderilmesi çalışmalarının tümü “maden havalandırma” olarak tanımlanır (Önce ve Saraç, 2001).

Madencilik havalandırmasının tarihi, on altıncı yüzyıla kadar uzanmaktadır. Sir Agricola'nın De Re Metallica kitabında (1556) genellikle metal madenleri ile ilgili bilgiler vermektedir. 19. yüzyılın başlarına gelindiğinde, metal ve gazsız kömür madenlerini havalandırmak için doğal havalandırma ve hava dönüş yolundaki havanın ısıtıldığı teknikler olmak üzere iki yöntem kullanılıyordu. Üst ve alt galerilerin C şeklinde bağlı olduğu durumlarda, dışarıdaki ve içerdeki sıcaklık değişiklikleri sayesinde hava yazın üst girişten alt girişe ve kışın ters yönde sabit bir akış sağlıyordu. Ancak doğal havalandırma, yalnızca en basit madenlerde etkili olabiliyordu (Murray ve Silvestre, 2016).

Bir madenin bağlantılı hava yolları düzeni, hava akışını üreten ve yöneten basınç kaynakları ve kontrol cihazları ile maden havalandırma sistemi olarak adlandırılır (Sanford, 1997). Hava giriş yolları oksijeni çalışma alanlarına taşıyan atardamarlar, hava çıkış yolları da kirli havayı dış atmosfere atan dönüş damarları olarak ifade edilirse, havalandırma bir madenin yaşam kaynağı olarak tanımlanabilir. Etkili bir havalandırma sistemi olmadan, personelin girmesi gereken hiçbir yeraltı tesisinin güvenli bir şekilde çalışması mümkün değildir (McPherson, 1993).

Temel olarak, havalandırmanın amacı insanlar için ve üretimle ilgili diğer işlerde ihtiyaç duyulacak havayı yeraltına sağlamak, yayılan veya oluşan patlayıcı ve zararlı gazların ve tozların hava içindeki oranlarını azaltmak veya dışarıya sevk etmek ve iş yeri havasını iklim şartları bakımından iyileştirmektir. Ocak ikliminin kontrolü çalışmaları içinde havanın ocak yollarında dolaştırılması ile ilgili işler de havalandırma olarak tanımlanır. Modern ocak iklimi kontrol çalışmalarının en önemli çaba alanını oluşturan havalandırma

genel olarak iklim kontrolü ile eş anlamlı olarak görülür ve yeraltı atmosferinin izlenmesi ile ilgili pek çok çalışmayı kapsar. Yeraltı maden ocaklarında havalandırmanın temel ilkeleri şöyle sıralanabilir:

- Yeterli miktarda temiz havayı ocağa göndermek,
- Havanın uzun mesafeler kat etmesini önlemek,
- Çok yaygın ocaklarda birbirinden bağımsız havalandırma devreleri oluşturmak,
- Ana hava akımından etkilenmeyen yerleri tali havalandırma ile havalandırmak,
- Havalandırılmayan yerleri insan giremeyecek şekilde kapatmak,
- Tali pervanelere kısa devre yaptırmamak,
- Grizulu ocaklarda emici havalandırma uygulamak,
- Grizulu ocaklarda başyukarı havalandırma uygulamak,
- Ocakta uygun yerlerde sensörler yerleştirmek ve erken uyarı sistemleri kurmak,
- Üretimden ayrı İş Sağlığı ve Güvenliği birimi oluşturarak ocağı sürekli denetlemektir.

Bir ocakta yeterli miktarda havanın hareketini sağlamak için ocakta oluşacak toplam yük kadar basıncın uygulanması gerekir. Havanın hareketi şu şekillerde sağlanabilir;

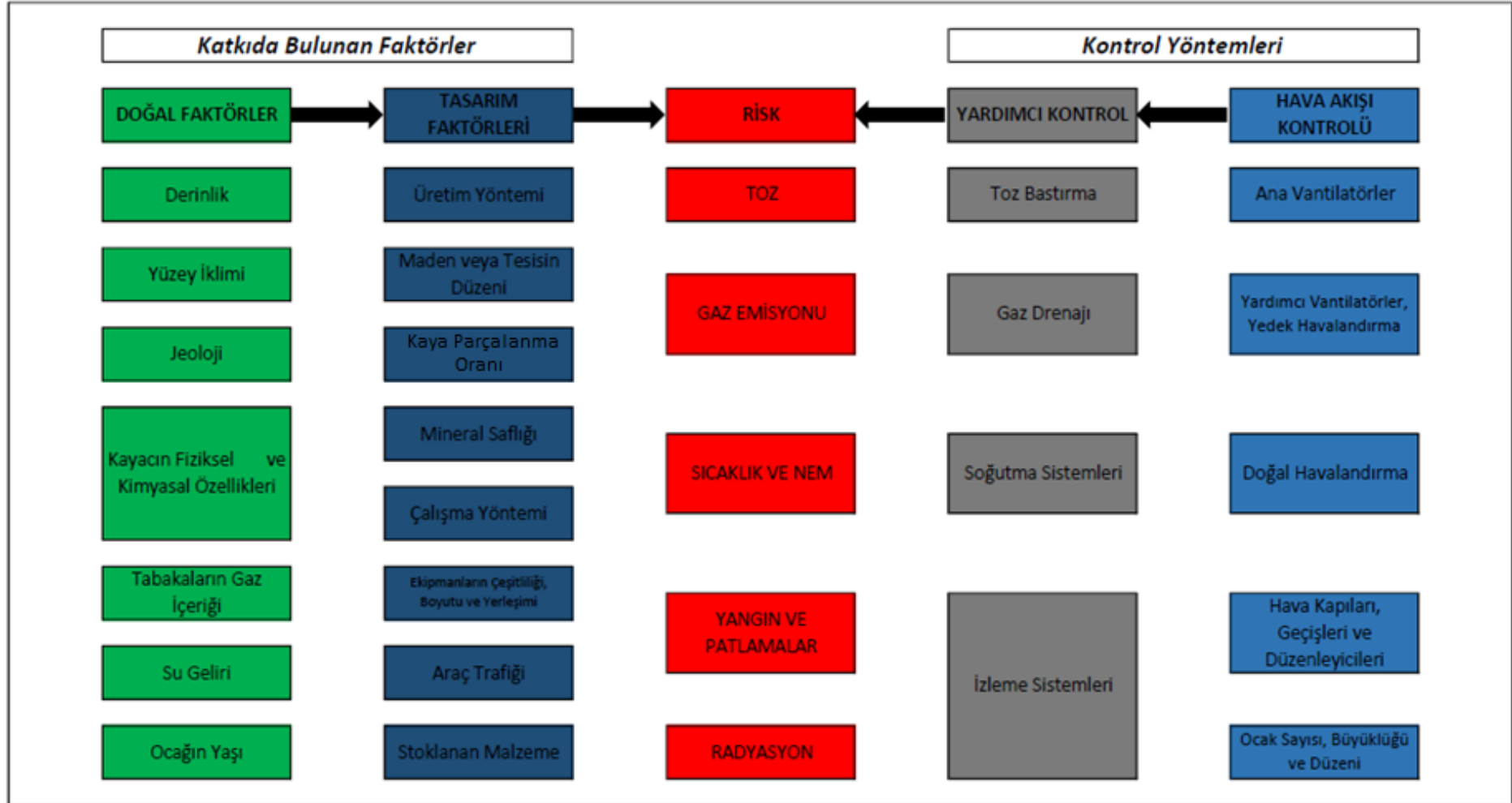
Doğal yolla (Doğal havalandırma)

Vantilatör ile (Mekanik havalandırma)

Bu ikisinin bileşkesi ile olabilmektedir (Saraç, 2020).

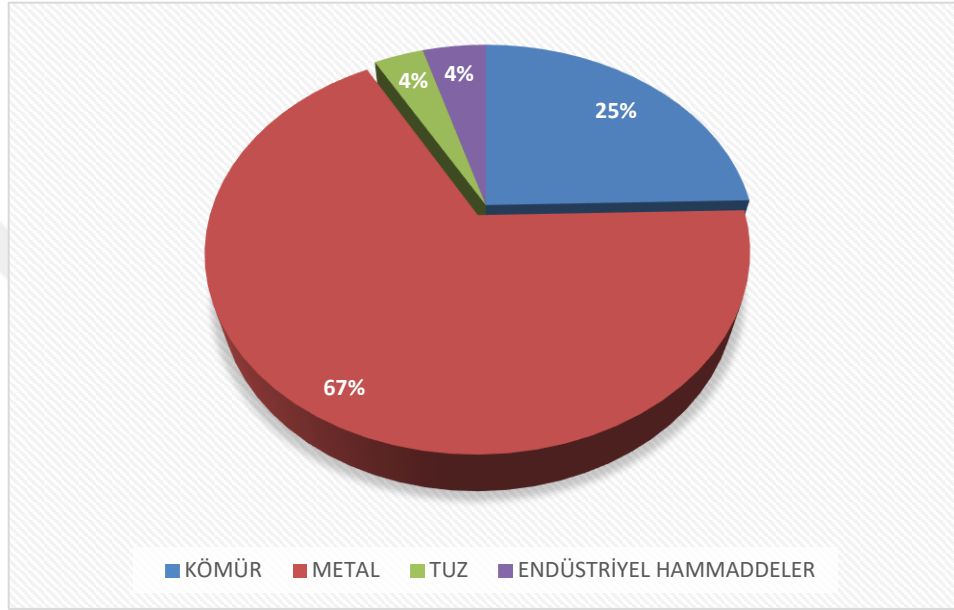
Yeraltı çalışma ortamında maden havalandırma ile ilgili meydana gelen tehlikeler ve bu tehlikelerin kontrolünde rol oynayan faktörler Çizelge 3.1’de verilmiştir (McPherson, 1993).

Çizelge 3.1. Yeraltı çalışma ortamında meydana gelen tehlikelerin ve kontrolünde rol oynayan faktörler



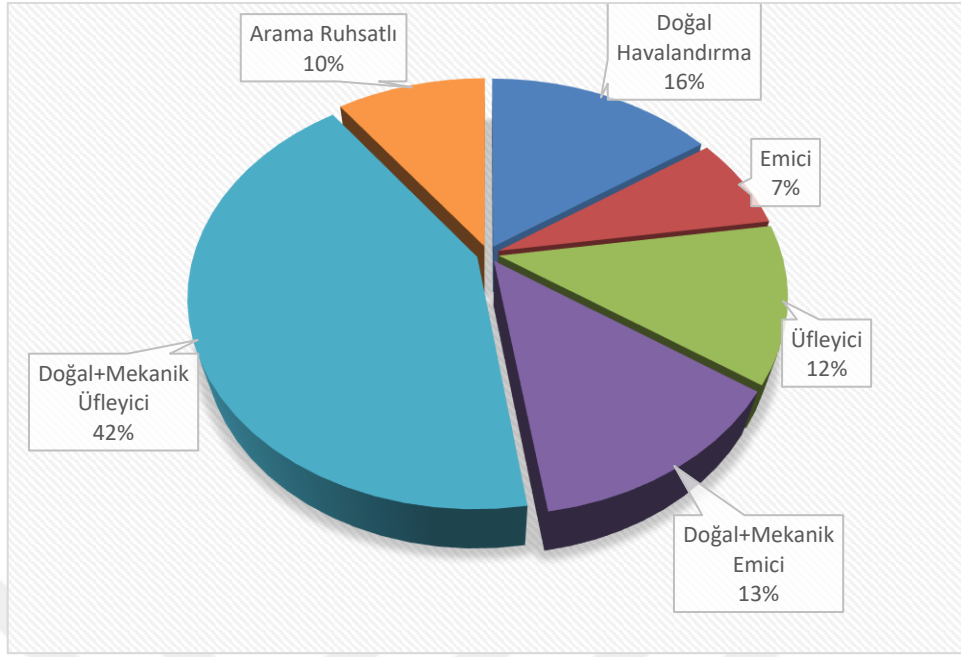
3.1. Türkiye’de Yeraltı Madenlerinde Kullanılan Havalandırma Türleri

Türkiye’de toplam 208 adet yeraltı maden işletmesi bulunmaktadır. Bu işletmelerin %67’si metal, %25’i kömür, %4’ü tuz ve %4’ü de endüstriyel hammaddelerdir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Yeraltı işletmelerinde maden cinsi dağılımı

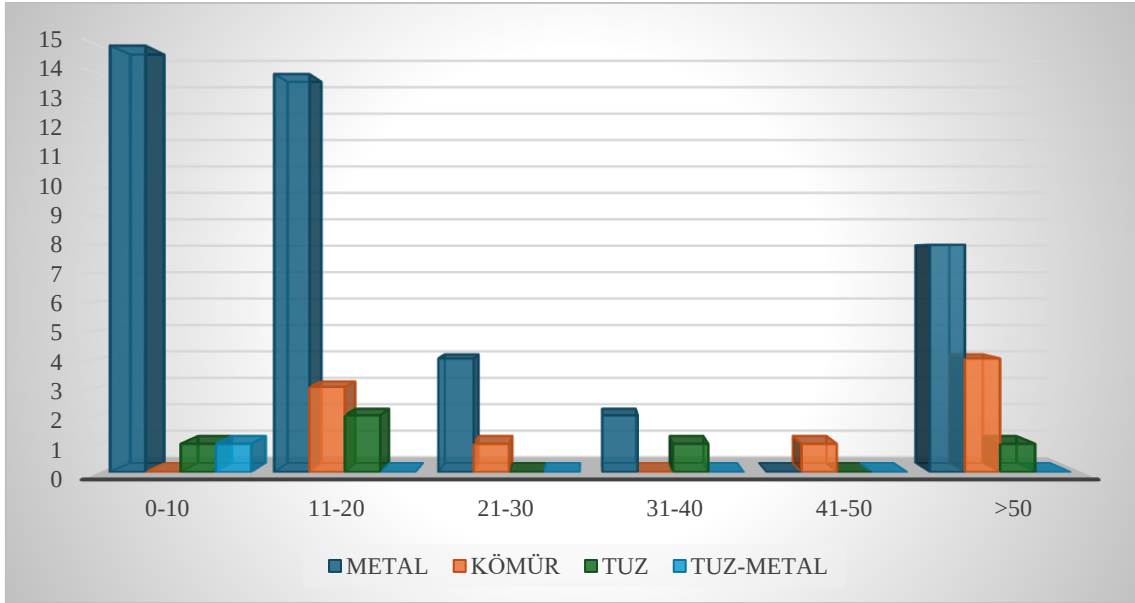
Şekil 3.1’den de görüldüğü gibi yeraltı işletmeciliğinde en büyük pay % 67 ile metal madenlerine aittir. Türkiye’de yeraltı metal maden ocaklarında havalandırmada en büyük pay doğal ve mekanik havalandırmanın birlikte yapıldığı ocaklardadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yeraltı metal işletmelerinde maden havalandırma türleri

Şekil 3.2 incelendiğinde doğal ve üfleyici mekanik havalandırmanın birlikte kullanıldığı ocak oranı %42'dir. Doğal havalandırmanın tek başına kullanıldığı ocak oranı ise %16 ile 2. sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla, doğal ve emici mekanik havalandırma (%13), üfleyici havalandırma (%12) ve emici havalandırma (%7) izlemektedir. Ocakların %10'u ise arama ruhsatı aşamasındadır. Şekil 3.2'den de görüldüğü gibi doğal havalandırma Türkiye'de metal yeraltı madenciliğinin önemli havalandırma türlerinden biridir.

Madenlerde ekonomik ömür, bir maden sahasının ekonomik olarak işletilebileceği süreyi yıl olarak ifade etmektedir. Madenin ekonomik ömrü, genellikle ayrıntılı jeolojik ve ekonomik analizler sonucunda belirlenir ve bu süre boyunca madenin ne kadar karlı bir şekilde işletilebileceği öngörülür. İşletmeler tarafından MAPEG'den elde edilen istatistiki bilgilere göre doğal ve mekanik havalandırmanın birlikte kullanıldığı yeraltı işletmelerinin ekonomik ömürlerini gösteren grafik Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Madenlerde doğal ve mekanik havalandırılan işletmelerde ekonomik ömür

Şekil 3.3. incelendiğinde ekonomik ömrü en yüksek olan yeraltı işletmelerinin metal madenleri olduğu görülmektedir.

3.2. Doğal Havalandırma

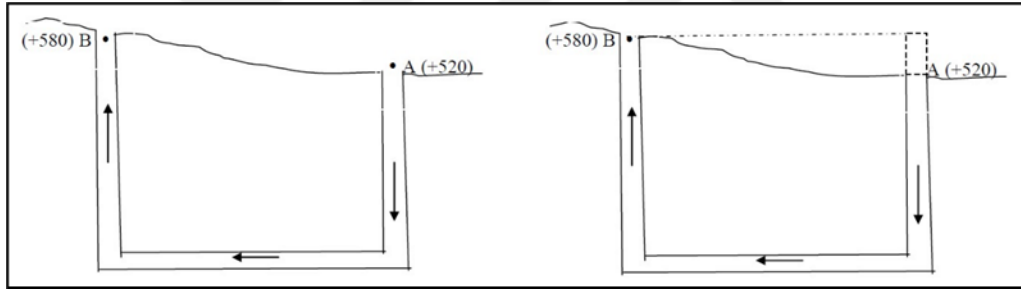
Bazı yeraltı ocaklarında kendiliğinden bir hava akımı oluşur. Bu durum doğadaki mağaralarda ve bazı diğer yeraltı yapılarında da gözlenebilmektedir. Vantilatör gibi herhangi bir mekanik donanım olmaksızın hava akımı oluşmaktadır. Ocakta kendiliğinden oluşan hava akımına doğal hava akımı, doğal yolla yapılan havalandırmaya doğal havalandırma doğal yolla oluşan basınç farkına da doğal havalandırma şiddeti denir (Önce ve Saraç, 2001).

Doğal havalandırma, yüzey ile maden çalışmaları arasındaki yükseklik farkı ve maden içindeki ve dışındaki hava sıcaklığı farkına bağlıdır. Genellikle, bu fark ne kadar büyükse, doğal havalandırma o kadar güçlü olur. Sadece doğal havalandırmayla havalandırılan bir madende, daha büyük farklar daha yüksek ısı enerjisi transferine, daha büyük basınç farkına ve daha büyük hava akışına neden olur (Hartman vd., 1997).

Doğal havalandırmanın oluşabilmesi için en önemli iki faktör şunlardır;

1. Hava giriş ve çıkış noktalarının kotları (yükseltileri) arasındaki fark,
2. Giriş havası ve çıkış havasının sıcaklığı ve yoğunluğu arasındaki farktır.

Şekil 3.4'te verilen ocakta A ve B noktaları arasında bir kot farkı bulunmaktadır. A kuyusunun dibinde oluşan hava basıncı ile B kuyusunun dibinde oluşan hava basıncı farklı olacak ve U kaplarına benzeyen bir sistem oluşacaktır. Hangi tarafta hava basıncı daha fazla olursa hava oradan diğer tarafa doğru hareket edecektir. Kış aylarında ocak dışındaki hava daha soğuk, ocak içi havası daha sıcak olur. Soğuk hava daha ağır olduğundan daha fazla basınç oluşur ve hava A dan B ye doğru hareket eder. Yaz aylarında ise dış hava daha sıcak olduğundan tersine olarak B den A ya doğru akar (Önce ve Saraç, 2001).



Şekil 3.4. Doğal havalandırmada kot farkının etkisi

3.3. Doğal Havalandırmaya Etki Eden Faktörler

Bazı ocaklarda doğal hava akımı hiç oluşmazken, bazı ocaklarda ise ocağın tüm havalandırması doğal olarak yapılmaktadır. Bazı ocaklarda ise doğal hava akımının koşulları tamamen mevsimlere ve hava sıcaklıklarına bağlıdır. Doğal hava akımını etkileyen faktörler şunlardır;

Kot farkı: En önemli faktör hava giriş ve hava çıkış noktaları arasındaki kot (seviye) farkıdır. Kot farkı arttıkça doğal hava şiddeti ve debisi artar.

Yoğunluk farkı: Hava yoğunluğu hava sütununun yaptığı basıncı etkilediği için önemlidir. Yoğunluğu fazla olan havanın basıncı daha fazla olur. Hava giriş ve çıkış noktalarındaki hava yoğunluğu farkı arttıkça doğal hava akımı ve şiddeti artar.

Sıcaklık farkı: Hava sıcaklığı havanın yoğunluğunu etkilemekte, dolayısıyla hava sütununun basıncını etkilemektedir. Soğuk hava daha ağır, yani yoğunluğu daha yüksek olmakta ve daha fazla hava basıncı oluşturmaktadır. Sıcak havanın yukarılarda toplandığı, soğuk havanın alt kısımlara çöktüğü günlük yaşamda bilinen bir gerçektir. Giriş ve çıkış noktaları arasındaki sıcaklık farkı arttıkça doğal hava akımı ve şiddeti artar.

Yörenin iklimi: Ocağın bulunduğu yörenin iklimi de önemlidir. Sibirya’da bulunan bir ocak, Antalya’da bulunan bir ocak veya Kütahya’da bulunan bir ocak mevsimsel özelliklerin farklı olmasından dolayı farklı davranış gösterirler.

Hâkim rüzgârların yönü: Hâkim rüzgârlar ocak içine doğru ise rüzgârın şiddeti arttıkça doğal hava akımı da artar.

Nem ve statik basınç: Yukarıdaki faktörler kadar olmasa da havanın neminin ve statik basıncının da doğal hava akımı üzerinde etkisi vardır (Önce ve Saraç, 2001).

3.4. Doğal Havalandırmanın Özellikleri

Madenin derinliğinin yanında, maden giriş ve çıkışlarının yükseklik farkı ve kayaç ısıısının yoğunluğu, doğal havalandırmanın gücünü belirleyen faktörlerdir. Maden ısıısının başlıca kaynakları otokompresyon, kayaç sıcaklığı ve elektrik/mechanik ekipmanlardır. Dağlardaki veya tepelik arazilerdeki madenler, açıklıkların yükseklik farkından dolayı sıklıkla güçlü doğal havalandırmaya sahiptir. Hem derin hem de sıcak olan madenler de güçlü doğal havalandırmaya sahiptir, soğuk iklimlerdeki madenlerde bu durum daha güçlüdür (Hartman vd., 1997).

Dünyada pek çok maden bölgesinde yaz ve kış arasındaki atmosferik koşullar oldukça farklıdır. Ancak, maden sıcaklıkları, kuyularda ve girişlerin yakınları dışında pek

değişmez. Günlük ve mevsimsel değişikliklerin etkisi, havalandırma havasına ısı sağlayan veya ondan ısı alan kaya tabakaları tarafından bastırılır. Örneğin, yaz aylarında öğlen sıcak hava aşağı yönlü hareketi sırasında soğutulur. Diğer yandan, gece yarısı daha serin hava ısınabilir. Alınan havanın nem içeriği mevsimlere göre belirgin şekilde değişirken, kirli havanın nem içeriği nispeten sabit kalır ve madenlerin neredeyse tamamen dengeleme etkisini ortaya koyar. Dolayısıyla, termal enerji tarafından oluşturulan doğal havalandırmanın miktarı değişkendir (Bruzewski ve Aughenbaugh, 1977: Hartman vd., (1997)).

Doğal havalandırma nedeniyle hava akışının yönü, özellikle sık madenlerde (derinliği 450 m'den az olanlar) nadiren sabittir. Hava akışına neden olan sıcaklık farkı sıfıra düşerse, hava hareketi durur. Yüzey sıcaklığı maden sıcaklığından yüksek olduğunda hava akışının yönü de değişir. Bu değişim sadece mevsimsel olarak değil günlük olarak da gerçekleşebilir. Günlük atmosferik varyasyonların etkisi çok önemli olmayabilir, ancak mevsimsel değişimlerin etkisi kayda değer olabilir. Doğal havalandırma genellikle kışın en güçlü, yazın en zayıf olup, ilkbahar ve sonbaharda kararsız bir akış sergiler (Biswas, 1966: Hartman vd., 1997).

Sonuç olarak, doğal havalandırmanın dalgalandığı, istikrarsız olduğu ve güvenilir olmadığı söylenebilir. Doğal havalandırma, maden hava koşullandırması için tek başına güvenilir bir şekilde kullanılmamalıdır. Doğal havalandırma, havalandırma sistemindeki mekanik enerji kaynağını destekleyebilir veya ona karşı çalışabilir. Mümkün olduğunda, doğal havalandırmanın en güçlü olduğu durumlarda fanla aynı yönde çalışması ve fanın doğal havalandırmanın etkileri üzerindeki kontrolü kesinlikle sağlanmalıdır.

3.5. Doğal Havalandırmanın Akış Yönü

Basit havalandırma devrelerinde doğal havalandırmanın yönünü belirlemek için aşağıdaki yöntem uygulanır.

1- Hava giriş veya çıkış kuyu ağızları ile kuyu taban seviyesinden geçen iki yatay seviye varsayılarak, eşit yükseklikte iki hava kolonu belirlenir.

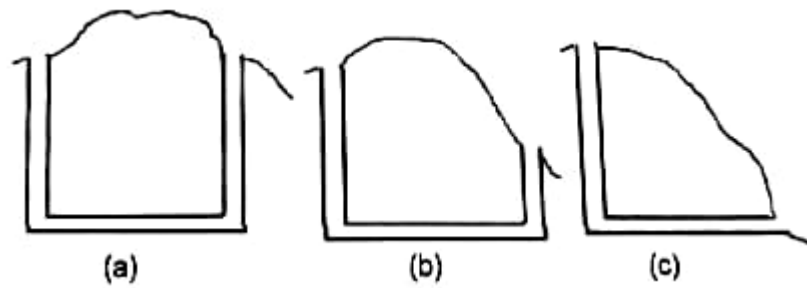
2- Hava kolonları içindeki havanın sıcaklıkları birbiriyle kıyaslanır.

3- Kış mevsiminde ocak dışı havasının, ocak havasından daha soğuk olduğu düşünülür.

4- Soğuk havanın bulunduğu kolon daha ağırdır ve kolon tabanında temas ettiği sıcak hava ile yer değiştirerek, hafif kolona doğru akış eğilimi gösterir.

5- Kolonlar arasında hava akışı, ağır hava kolonundan hafif hava kolonuna doğrudur.

Şekil 3.5'te ve Çizelge 3.2'de verilen üç sistem, doğal havalandırma ile ilgili temel yaklaşımları da açıklamaktadır.



Şekil 3.5. Temel doğal havalandırma sistemlerinde akış yönünü belirlenmesi (Yalçın, 2012)

Çizelge 3.2. Şekil 3.5'in açıklaması (Yalçın, 2012)

	Sistem (a)	Sistem (b)	Sistem (c)
Kış	Hava akışı yok	Sağdan sola	Sağdan sola
Yaz	Hava akışı yok	Soldan sağa	Soldan sağa

Özellikle yüzeyde, iki hava kuyusunun ağızları arasındaki seviye farkının düşük olduğu durumda (a ve b), akışın gerçekleşmesi için vantilatör, hareketli bir nesne vb. kaynaklara ihtiyaç duyulur. Bu kaynaklarla hava akımı başlatıldıktan sonra, uygun sıcaklık farkı var ve olduğu sürece akış devam eder. Ancak, ilk sistemde (a) akış, Yaz mevsiminde, bir kaynakla başlatılmış olsa bile, akışa karşı koyan bir sıcaklık farkı sebebiyle durur.

Doğal havalandırma etkilerinin niceliğine yönelik iki yaklaşım bulunmaktadır. Basit ve çoğu durumda yeterli bir yaklaşım, doğal havalandırmanın nedenini eşit yükseklikteki iki

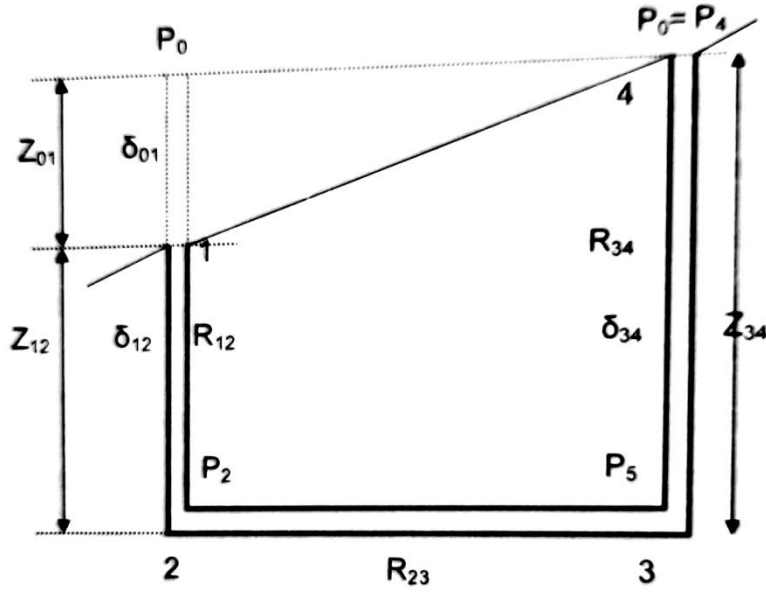
hava sütunu arasındaki yoğunluk farkı olarak görmek, daha önce açıklandığı gibi daha ağır olan giriş havası sütununun alçalması ve daha hafif olan hava sütununun yükselmesi ve ardından ortaya çıkan doğal havalandırma basıncını (NVP) hesaplamaktır. Termodinamik yaklaşım ise madendeki ısı enerjisi değişimini açıkça dikkate alır ve doğal havalandırma enerjisini (NVE) hesaplamak için birtakım denklemler uygulanır. Her durumda, doğal havalandırmayı (NVP veya NVE) tahmin etmeye yönelik verileri elde etmek için maden devresi etrafında bir basınç, miktar veya sıcaklık araştırması yapılması gerekir (Yalçın, 2012).

3.6. Doğal Havalandırma Basıncının Hesaplanması

Doğal havalandırma basıncının ölçülmesi, çoğu havalandırma sistemi için sistemin hangi kısımlarında doğal havalandırmadan, hangisinde mekanik havalandırmadan faydalanılacağı sorusunun cevaplandırılması için ayrıca vantilatörün çalışması üzerine doğal havalandırmanın pozitif ve negatif etkilerinin belirlenebilmesi için de doğal havalandırma basıncının ölçülmesi gereklidir. Doğal havalandırmanın, hava kolonlarının (kuyular) yoğunluk farklarının bir sonucu olduğu kabul edilerek, doğal havalandırma hesaplamaya yönelik farklı yöntemler geliştirilmiştir (Yalçın, 2012).

3.6.1. Yoğunluk farkına göre hesaplama

Bu yöntemde Doğal Havalandırma Basıncı, H_D , hava giriş ve çıkış kuyularında yoğunluk farkı nedeniyle oluşan basınç farkının bulunması yoluyla hesaplanır (Şekil 3.6). Kuyu ağızları farklı düzeyde bulunan ocakta daha derin olan kuyunun kuyubaşı seviyesindeki basınç $P_0 = P_4$ dışarıdaki havanın sıcaklığı t_0 'dır. Böyle bir ocak için H_D , aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.



Şekil 3.6. Kuyubaşları farklı seviyedeki ocakta doğal havalandırma basıncı.

$$H_D = Z_{01} \cdot \delta_{01} + Z_{12} \cdot \delta_{12} - Z_{34} \cdot \delta_{34} \quad (3.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte δ_{01} , δ_{12} ve δ_{34} yoğunluklarının hesaplanabilmesi için P_0 , P_1 , P_2 ve P_3 barometrik basınçlarının (kPa) ve t_0 , t_1 , t_2 , t_3 ve t_4 sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir.

3.6.2. Sıcaklık farkına göre hesaplama

Bu yöntem, kuyu derinliklerinin eşit ve kuyu giriş seviyelerinin aynı, kotta olduğu durumda kullanılır. Aynı derinliğe sahip, giriş ve çıkış kuyubaşları aynı seviyede olan kuyuların bulunduğu ocaklarda, su buharının etkisi ihmal edildiğinde ve hava giriş-çıkış kuyularındaki barometrik basınçların eşit olduğu varsayıldığında, H_D , SI birim sisteminde aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilir.

$$H_D = \frac{Z g P}{287,1} \left(\frac{1}{t_g} - \frac{1}{t_c} \right) \times 10^3 \quad (3.2)$$

Z: Kuyu derinliği, m

g: Yerçekimi ivmesi, m/s^2

P: Barometrik basınç kPa

t_g : Giriş kuyusu ortalama sıcaklığı, °K

$t_ç$: Çıkış kuyusu ortalama sıcaklığı, °K

3.7. Doğal Havalandırma Miktarının Belirlenmesi

Doğal havalandırma ile oluşturulacak hava akış miktarı grafiksel ya da matematiksel olarak belirlenebilir. Hız kaybını ihmal ederek, ocak statik basıncı veya basınç kaybı, doğal havalandırma basıncına, H_D , eşittir.

$$H_D = R_m \cdot Q_D^2 \quad (3.3)$$

Eşitlik, doğal havalandırma hava miktarı, Q_D , için aşağıdaki gibi düzenlenerek;

$$Q_D = \sqrt{\frac{H_D}{R_m}} \quad (3.4)$$

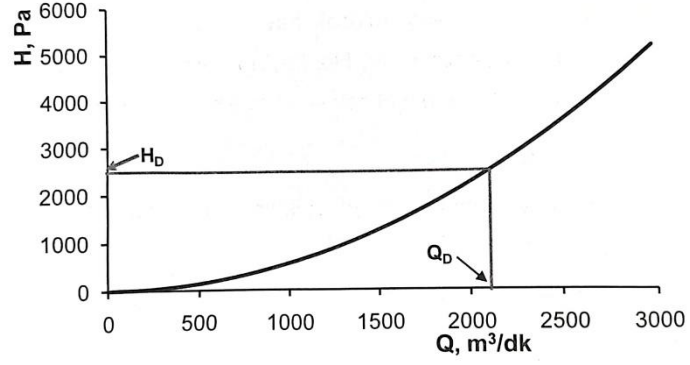
doğal havalandırma ile ocaktan geçecek hava miktarı belirlenebilir. Eşitlikte R_m ocak toplam direncidir.

3.8. Doğal Havalandırmanın Karakteristik Eğrisi

Ocak karakteristik eğrisi kabul edilen bir hava miktarı Q ve bu hava miktarı için hesaplan basınç kaybı, H , için çizilir. Bir havalandırma şebekesinin analizi için grafiksel veya matematiksel çözüm gerekli olabilir. Ocak karakteristik eğrisi ile doğal havalandırmanın karşılaştırıldığı aynı grafik üzerinde çizilir. İki eğrinin kesişme noktasında doğal havalandırma Q_D ile ocağa sağlanan doğal havalandırma basıncı H_D , belirlenir.

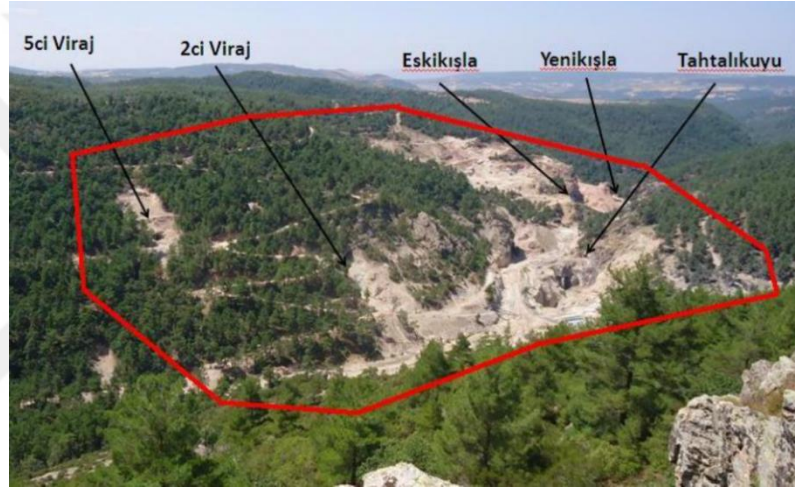
Doğal havalandırma basıncı ile hava miktarı arasındaki ilişkiyi gösteren eğri doğal havalandırma karakteristik eğrisi olarak adlandırılır ve doğal havalandırma basıncı arttıkça, ocaktan geçen hava miktarı da artmaktadır (Şekil 3.7). Doğal havalandırma basıncı giriş ve

ıkış havasının sıcaklıkları farkına bağlıdır, fark arttıkça basınç da artmaktadır. Bu nedenle, özellikle kış aylarında sıcaklık farkı yüksek olduğundan H_D ve Q_D fazla; yaz aylarında ise az olur (Yalçın, 2012).



şekil 3.7. Doğal havalandırma karakteristik eğrisi

Koru maden sahasında Çanakkale Madencilik ve Ticaret Anonim Şirketi A.Ş. tarafından geçmişte ve günümüzde işletilen 5.Viraj Ocağı, 2.Viraj Ocağı, Can Damarı Ocağı, Tahtalı Ocağı, Kuyu Taşı Ocağı, Eski Kışla Ocağı ve Yeni Kışla Ocağı ve Umut Ocağı olmak üzere 7 ayrı ocak bulunmaktadır. Bu ocaklar dışında sahada irili ufaklı çok sayıda cevher yataklanması tespit edilmiş, işletilmek üzere bazı çalışmalar yapılmıştır. Bakırkuyusu cevherleşmesi, Kuyutaşı Tepe cevherleşmesi, Can Damarı Cevherleşmesi, Baraj cevherleşmesi gibi bu yataklanmalar ekonomik olmaması ve süreksizlikleri nedeniyle zaman zaman işletmeye alınmaktadır. İşletme açısından metal fiyatları belirleyici olmaktadır. Koru maden sahasındaki cevher yatakları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Koru maden sahasındaki cevher yatakları

Tez çalışması sürecinde 5.Viraj ocağında aktif olarak üretim sağlandığından dolayı, çalışma kapsamındaki gerekli veriler bu ocaktan alınmıştır. 165 giriş kotlarından başlayarak 119 kotlarına kadar üretim için çalışmalar yapılmış olup daha alt kotlardaki cevher varlığının kontrolü için yeraltı sondajları üzerinde çalışmalar yapılmakta, gelecek yıllarda da bu ocakta üretimin devamlılığı planlanmaktadır.

4.1. Jeolojik Yapı

Ruhsat alanı Biga Yarımadası sınırları içerisinde yer almaktadır ve bu bölgenin jeolojik özelliklerini taşımaktadır. Biga Yarımadası'nın jeolojisi genel olarak metamorfik topluluklar, ofiyolitik kayalar ve bunlar üzerine gelen Neojen havza çökelleri ve Eosen'den başlayıp Pliyosen'e kadar aralıklarla gelişimini sürdürmüş magmatik aktivitenin

ürünlerinden oluşur. Çalışma alanında magmatik aktivitenin ürünü olan volkanik birimler yüzeylenmektedir. Biga Yarımadası'nın temelini Sakarya Kıtası'nın metamorfik kayaları oluşturur (Okay vd., 1990, 2001).

Kazdağ metamorfikleri olarak isimlendirilen bu birim, Paleozoyik yaşlı olup mermer, gnays ve mikaşist gibi farklı seviyelerden oluşmaktadır. Kazdağ metamorfiklerinin üzerinde tektonik bir dokanakla, aktif kıta kenarı çökelleri ile temsil edilen Alt Triyas yaşlı Karakaya Kompleksi bulunmaktadır (Bingöl vd., 1973). Bu kompleks, genellikle kireçtaşı bloklu spilit ve grovak, şeyl ve silttaşı gibi birimlerden oluşmaktadır. Karakaya Kompleksi birimleri üzerinde uyumsuzlukla gelen, tabanda konglomera ile başlayan ve üste doğru kireçtaşlarına geçen Jura yaşlı Bayırköy formasyonu (Okay vd., 1990) ve Jura-Erken Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşı çökelmiştir. Bölgede Geç Kretase-Paleosen aralığında geniş bir yayılıma sahip olan, karmaşık ve düzensiz bir iç yapıya sahip, Çetmi ofiyolitik melanji yerleşmiştir. Başlıca spilit, grovak, pelajik şeyl, serpantin ve radyolaritlerden oluşan Çetmi ofiyolitik melanji, Biga Yarımadası'nın değişik kesimlerinde yüzlekler vermektedir. Paleozoyik veya daha yaşlı birimler üzerinde tektonik dokanakla duran Çetmi melanji ile benzer litolojik ve yapısal özellikler sunan ofiyolitik kütleler de bölgede görülmektedir. Bu kütleler Kanlıoba Melanji ve Denizgören ofiyolitleri olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.3).

İnceleme alanının elde edilen örnek üzerinde radyometrik yaş belirlenmesi ile 9,7 milyon yıllık (Üst Miyosen) yaşı elde edilmiştir. Buna karşın bölgede çalışan Bingöl vd. (1973), bu bazaltların Kuvaterner yaşta olduklarını öne sürmüşler, ayrıca Siyako vd. (1989) ile Ertürk O. (1990) gibi bazı araştırmacılar, bu birimleri "Taştepe Bazaltı" olarak adlandırmış ve Pliyo-Kuvaterner yaşta meydana gelmiş olabileceklerini belirtmişlerdir. İnceleme alanında "Ezine Bazaltı" olarak adlandırılan bu alkali bazaltların Üst Miyosen sonlarına doğru yüzlekler verdiği saptanmıştır (Ercan vd., 1995). Bozkaya ve Gökçe'nin 2001 yılında yaptıkları çalışmalarında, Karaömerler Bazaltı olarak adlandırılan bu birim ise Sümengen vd. (1987) tarafından yapılan radyometrik yaş tayini ile 67107 milyon yıllık bir değerle ölçülmüştür.

4.1.2. Dededağ dasiti (Tdd)

Biga Yarımadası'nda, Alt-Orta Miyosen boyunca, çeşitli evrelerle yoğun bir volkanizma egemen olmuş ve andezit, dasit, riyodasit, latit türde lav, tuf ve aglomeralar ile geniş alanlar kaplayan ignimbritler meydana gelmiştir (Ercan vd., 1995). Kuzeybatı Anadolu'da etkin olan ve geniş alanlar kaplayan Alt-Orta Miyosen volkanizması, ilk kez (Akyürek ve Soysal, 1983) tarafından Bergama güneyinde "Yuntdağ Volkanitleri" olarak adlandırılmış, daha sonra Dikili dolaylarında Ercan vd. (1984 a) tarafından, Edremit Korucu dolaylarında Ercan vd. (1984 b) tarafından, Bigadiç dolaylarında Ercan vd. (1984 c) tarafından ve Ayvacık çevresinde (Gevrek vd., 1986) tarafından çalışılmış ve tanımlanmıştır.

Yapılan tüm radyometrik yaş belirlemeleri 21.5 ile 16.8 milyon yıl arasında Borsi vd. (1972) Alt-Orta Miyosen yaşını vermektedir. Ercan vd. (1995) çalışmalarında bu formasyonu "Behram Volkanitleri" olarak, Bozkaya ve Gökçe (2002) ise çalışmalarında dasitik karakterli ve ender olarak da riyodasit lav geçişli bu birimi Dededağ Dasiti olarak adlandırmışlardır.

4.1.3. Adadağı piroklastikleri (Tad)

İnceleme alanında geniş bir yayılıma sahip olan bu volkanikler, özellikle Kuyutaşı Tepe ve Avcı Tepe'de izlenmektedir. Genelde trakit-dasit-riyolitik bileşimli tuf, aglomera ve

piroklastik breşler ile nadir olarak andezitik-dasitik, trakidasitik bileşimli lavlardan meydana gelmektedir (Kıran Yıldırım, 2013).

Arakatkılar şeklinde ve en üst seviyelere karşılık gelen kesimlerde silisçe zengin zonlar da yer almaktadır. Pb cevherleşmesinin bulunduğu kesimlerde tüflerde silisleşme ve kaolenleşme türü alterasyonlar yaygındır. Bunlar inceleme alanında beyaz, sarı, kırmızı, kahve, yeşil ve mavi renklerde çok farklı konumlarda bulunmaktadır. Silisleşen tüfler sert ve midye kabuğu kırılmalıdır (Kıran Yıldırım, 2013).

4.1.4. Akçaalan volkanitleri (Taa)

İnceleme alanında Tersiyer volkanizması ilk olarak Eosen'de başlamaktadır. Biga Yarımadası'nın kuzey kısmında Lapseki-Biga ilçeleri arasında ve daha batıda Gelibolu Yarımadası'nda yüzlekler vermektedir.

Eosen volkanizmasının ilk ürünleri, altta Karaağaç Formasyonu türbiditik kumtaşı-şeyl ile başlar, üstte Fıçıtepe Formasyonu ise kalınlığı 1000 m'ye ulaşan delta düzlüğü-flüviyal çökelleri oluşturan ince kömürarakatkılı kumtaşı ve şeyllerden oluşmuştur (Sfondrini, 1961). Orta Eosen'de bölgede önemli bir transgresyon başlamış, resifal özellikli kireçtaşı (Soğucak kireçtaşı) (Holmes, 1966) çökelmiştir. Bu sırada Eosen volkanizması da etkinliğini sürdürmüş ve andezitik türde lavlar ve tüfler oluşmuştur. Daha sonra Üst Eosen'e doğru Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nı kapsayan havzanın güney şelfi giderek derinleşmiş ve genellikle türbiditlerden oluşan Ceylan Formasyonu (Ünal, 1967; Siyako vd., 1989) çökelmeye başlamıştır.

Biga Yarımadası'nda Alt Eosen'den başlayarak tüm Eosen boyunca, Üst Eosen sonlarına değin etkinliğini sürdüren, andezitik ve dasitik lav ve tüflerden oluşan Eosen Volkanizması, KB'ya doğru Gelibolu Yarımadası'nda da benzer özelliklerde yüzlekler vermektedir.

Akçaalan ve Akçaalan'ın güneydoğusuna doğru mostralara incelendiğinde, yeşilimsi ve yer yer vişne renkli andezitik ve dasitik tüfler gözlenmiştir. Orta-Üst Eosen yaşlı çökel

kayalarla arakatkılı olarak, lavlar ise yer yer küçük siller şeklinde izlenmektedir. Volkanik kayaların yanı sıra üst seviyelere doğru piroklastik arakatkılar ve kireçtaşı arabantları da nadir olarak rastlanmıştır.

Bölgede görülen tüfler genellikle litik tuf özelliği taşımaktadırlar. Üst Eosen yaşlı Ceylan formasyonu içinde bulunan ve "Ceylan Tüfleri" olarak adlandırdıkları tuf birimlerinde inceleme yapan (Ertürk ve Uygur, 1994), bunların çoğunlukla vitrik, nadiren kristalen tuf olduklarını belirterek denizel ortamda oluşan iki farklı lithofasiyes ürünü ayırtlamışlardır. Bunlar, iyi yataklanmış laminasyon gösteren yeşil renkli tüfler ile karbonatlaşma yer yer silisli beyaz renkli tüflerdir. Bu tüfler, yayılım alanı itibarı ile ayrı bir formasyon olarak ayırtlanmamış ve Orta Eosen yaşlı, Akçaalan volkanitleri içerisinde değerlendirilmiştir (Kıran Yıldırım, 2013). Çalışmanın yer aldığı işletme ruhsat alanının jeolojik düşey kesiti Şekil 4.4'te verilmiştir.

ÜST SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
S E N O Z O Y İ K	HOLOSEN			QAI		ALÜVYON
	PLİYOSEN	BAYRAMIÇ		Tplb		ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI, KİTAŞI
	MİYOSEN	TAŞTEPE BAZALT		Tmt		BAZALT, BAZALTIK PIROKLASTİKLER
		ÇANAKKALE		Tmck		SIĞ DENİZEL KİTAŞI, KİREÇTAŞI
		GAZHANEDERE		Tmg		KARASAL ÇAKILTAŞI, KUMTAŞI
		İŞİKELİ RİYOLİTİ		Tmis		RIYOLİT, PIROKLASTİK KAYAÇ
	ALT	ÇAN		Tmca		ÇAKILTAŞI, KİTAŞI, KUMTAŞI
		EZİNE		Tme		KİREÇTAŞI, KÖMÜR, ANDEZİT, TRAKIANDEZİT, PIROKLASTİKLER
	OLİGOSEN	HALLAÇLAR SARAYCIK YENİKÖY ATIKHISAR MEZARDERE		Toh TeS Toy Toa Tom		ANDEZİTİK, BAZALTIK, RIYOLİTİK, DASIĞ LAV VE PIROKLASTİK, GRANODİYORİTİK KAYAÇLAR, MARİN, ŞEYL, TUF, ÇAKILTAŞI
		ERDAĞ VOLKANİTİ		Teer		BAZALTIK LAV VE PIROKLASTİKLER
		BEYBAŞI		Tebe		KUMTAŞI, KİTAŞI, RESİFAL KİREÇTAŞI
		CEYLAN DEDEDAĞ VOLKANİTLERİ		Ted Tedk Tedd Tee		YEŞİL RENKLİ TUF, DENİZEL İGNİMBRİTLER (DENİZEL PIROKLASTİKLER), ANDEZİT DASIĞ, DENİZEL TURBİDİTİK KAYAÇLAR
	ORTA - ÜST	SOĞUCAK		Tes		NUMİLİTLİ KİREÇTAŞI
		ŞAHİNLİ		Tesab		DELTA DÜZLÜĞÜ VE FLUVİYAL ÇOKELLER, BAZALTIK BİLEŞİMLİ LAV VE PIROKLASTİKLER, VOLKANOKLASTİKLER, BAZALTIK KAYAÇLAR
		FİDİTEPE BEYÇAYIR VOLKANİTLERİ		Tef		VOLKANOKLASTİKLER, TURBİDİTLER, BAZALT
	ALT	EOSEN GRANODİYORİTLERİ		Teg		ANDEZİT LAV PIROKLASTİKLER
		ÇETİMİ OFİYOLİTİK MELANJİ		Kç		GRANİT, GRANODİYORİT MONZONİT
MESOZOYİK						SERPANTİN
PALEOZOYİK		ÇAMLIÇA METAMORFİKLERİ		Kça		MİKA SİST, KUVARİS SİST VE KALKSİST

Şekil 4.4. İşletme ruhsat alanının ve çevresinin genelleştirilmiş düşey kesiti (Atabey vd., 2004)

4.2. 5.Viraj Ocağı

Çanakkale Madencilik tarafından ruhsat sahası içinde çeşitli dönemlerde ocaklar açılıp işletilmiştir. Sondaj verilerine ve piyasa koşullarına göre çalışmalar aralıklarla yapılmaktadır. İşletme zaman zaman 5.Viraj olarak isimlendirilen ocakta üretim faaliyetlerini sürdürmekte olup Yeni kışla ocağında hem hazırlık çalışmaları hem de üretim yapmaktadır.

Üretim yöntemi olarak cevher durumuna göre kes-doldur (cut and fill) yöntemi, ambarlama yöntemi ya da düzensiz galeri yöntemi kullanılmaktadır. İşletmenin ocak girişine ait görsel Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. İşletmeye ait ocak girişi görüntüsü

4.3. 5.Viraj Bölgesi Pb-Zn Cevherleşmeleri

Madende kuru tipi cevherleşme görülmektedir. Kuru Pb-Zn-Ag yatağındaki cevherleşmeler sahadaki portiritik riyolit lavı olarak isimlendirilen volkanik domlar

içerisinde, bu riyolitlerle kontak yapan litik tüfler ve camsı dokulu riyolitler içerisinde oluşmuştur. Cevherleşmeler hidrotermal breşik, ağsal, damar ve damarcık, çatlak dolgulu ve saçınımlı tiplerde görülmektedir. Ayrıca felsik litik tüfer içerisinde damar tipi cevherleşmeler de gözlenmektedir. Riyolitik domlar içerisinde ve diğer birimlerle olan kontak zonlarda görülen cevherleşmeler işletme açısından oldukça ekonomik olmuştur.

Fay ve kırık sistemlerini takip ederek büyük bir basınç ve sıcaklıkta yükselen hidrotermal eriyikler riyolit domunun bacasındaki kırık ve çatlaklarda, bazen de riyolit-tüf kontağını takip ederek hidrotermal breşik ve ornatma, ağsal, saçınımlı ve çatlak dolgulu cevherleşmeyi oluşturmuştur. Basıncı ve sıcaklığı düşen eriyikler bacadan sonra domun şapka kısmında riyolit lavı ile tüf kontağını takip ederek riyolit lavının içindeki tüm boşluk ve çatlakları doldurmuştur. Gerek bacada gerekse riyolit lavının altında oluşan hidrotermal breşik cevherleşme birden fazla fazda oluşmuştur. Bu nedenle breşik cevherleşme içerisinde daha önce oluşmuş cevherlerin klastları, ametist, değişik silisli ve altere olmuş riyolit ve tüf klastları da görülür. Cevherleşme sırasında riyolit domunda patlama olmadığı düşünülmektedir. Bu nedenle cevher eriyikleri riyolit domundaki tüm boşluk ve çatlakları doldurmuş ve düzenli bir şekilde yataklanmıştır.

Portiritik riyolitler içerisinde ve kenarlarında oluşan cevherleşmeler yüksek tenör ve kalınlık sunmaktadır. Riyolit kenarında oluşan kontak cevherinin tenörü %7,61 Pb, %13,64 Zn ve 69,28 g/t Ag'dir. Riyolit domu ile ilişkili diğer cevherleşmeler maden sahasına benzemez. Bu nedenle maden sahasındaki riyolit lavının ve subvolkanik domların içerisinde oluşmuş hidrotermal breşik ve ornatma tipindeki cevherleşmeler benzersiz olup maden Tipi Pb-Zn Cevherleşmesi olarak tanımlanmıştır. (Kıran Yıldırım, 2013). Şekil 4.6'da cevherleşme tipi ayrıntılı gösterilmiştir.

Ocağı, Can Damarı Ocağı, Tahtalı Ocağı, Kuyu Taşı Ocağı, Eski Kışla Ocağı, Yeni Kışla Ocağı ve Umut Ocağı olmak üzere 7 ayrı ocak bulunmaktadır.

Yeraltı ocak bölgesinde RMR kaya kütlesi sınıfına göre, 23,00 m galeri genişliğinde ani çökme gerçekleşeceği, 3,30 m galeri genişliğinde ise destek gerekmediği hesaplanmıştır.

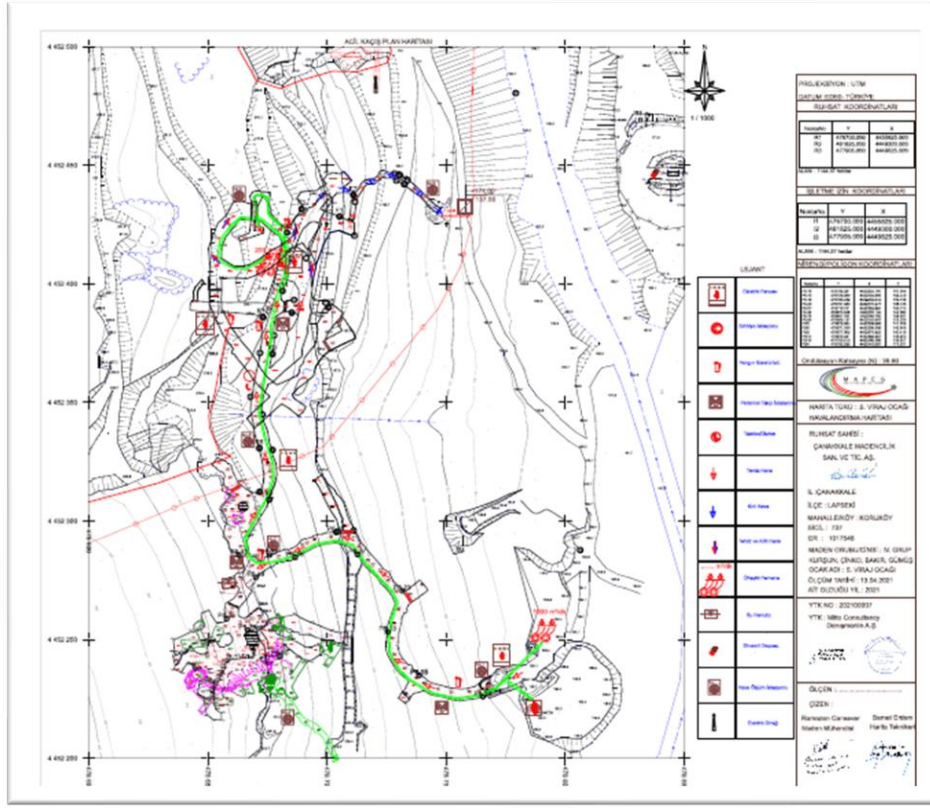
Yeraltı üretimi sırasında sürülecek olan galerilerin açılması aşamasında, yeraltı suyu girişimi görüldüğünde susuzlaştırma faaliyetleri yapılmaktadır. Yeraltı suyuna denk geldiği kotta mevcut yeraltı suyu yeraltında uygun bir kotta biriktirilerek yerüstüne pompalar yardımı ile iletilmektedir. Yerüstüne taşınan yeraltı suyu zenginleştirme tesisine gönderilerek tesisin su ihtiyacına katkı sağlanmaktadır.

Her patlatma sonrası patlamamış dinamit kapsül kontrolü ve çatlak kavlak kontrolleri yapıldıktan sonra patlatma yapılacak alanda 5m x 5m kesitli galerilerde, Jumbo delici makine kullanılarak 3,70 m matkap ile daha dar kesitlerde yapılacak patlatmalar için martoperfaratör kullanılarak kesite uygun 120, 160, 180 cm boyundaki matkaplar ile delik delinmektedir. Delikler v kat delik ve veya paralel delik sistemiyle sistemi ile delinip patlatılması şeklinde olmaktadır. Bu işlemi gerçekleştirirken ortadaki delikler konik şekilde ve etrafındaki tarama delikleri paralel delinerek her bir ayna ilerlemesinde 5m x 5m galerilerde; aynaya 50-60 adet delik açılarak, her deliğe en az 2-2,5 kg dinamit yerleştirilerek, bir patlatmada 100-150 kg dinamit kullanılması şeklinde gerçekleşmektedir. 3m x 2m kesitlerde yapılan çalışmalarda, aynaya 25-30 adet delik açılarak, toplamda 15-18 kg dinamit yerleştirilerek göbek deliklerine bağlanan kapsüllerin en erken patlamasını sağlayacak milisaniyede olması sağlanmaktadır. Bu sayede dış deliklerin en verimli şekilde patlayabilmesi için serbest yüzey oluşması gerçekleşmektedir. Her delik için 1 adet gecikmeli kapsül kullanılarak ve tüm gecikmeli kapsüller bir fitile bağlanıp ve o fitile de tek bir elektrikli kapsüle bağlanarak bu kapsül hat kablosuyla gerekli enerjiyi sağlayacak olan manyetoya bağlanıp patlatma gerçekleştirilmektedir. Yaklaşık 2,5 metre ilerleme ile 140 ton günlük üretim sağlanmaktadır.

4.5. Seçilen İşletmenin Havalandırma Bilgileri

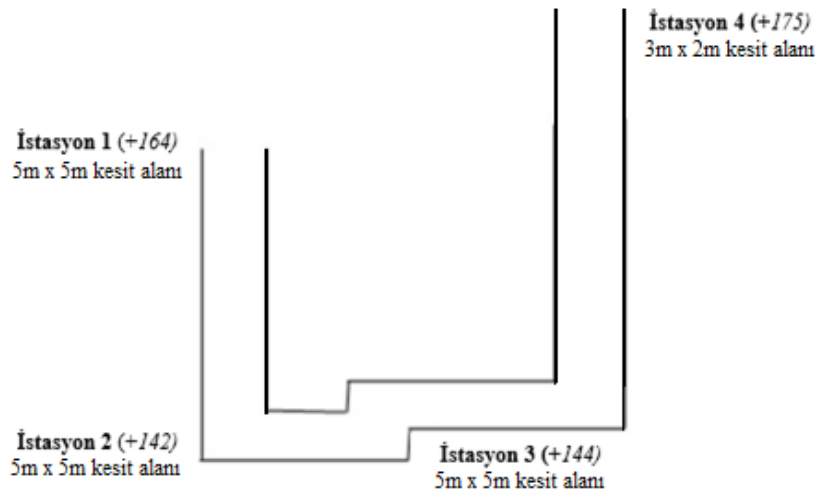
Sahada yeraltı üretim yöntemi olarak göre kes-doldur (cut and fill) yöntemi, ambarlama yöntemi ya da düzensiz galeri yöntemi uygulanmakta olup yapılan cevher modellemesine göre planlanan galeriler, üretim galerileri, üretilecek cevher özellikleri ve üretim miktarına göre havalandırma projesi Ventsim - 3 Boyutlu Havalandırma Simülasyon Programı kullanılarak hazırlanmıştır. Galeriler arası kot farkından yararlanılarak doğal havalandırma akımı sağlanmış olması planlanmakta olup, havalandırmanın yeterli olmadığı durumlar için üfleleyici/emici vantilatörler ile havalandırma sağlanmaktadır.

Tam kapasite üretim döneminde çalışırken ocakta ihtiyaç duyulan hava miktarı, ocakta çalışanların sayısı, yayılan gaz miktarı, oluşan toz miktarı, kullanılan patlayıcı madde miktarı, hava hızı limitleri gibi kriterler göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Kapasite esnekliği sağlaması açısından emici fanlar yedekleriyle birlikte kurulmuştur. Kurulan fanlar acil durumlarda geçici olarak hava yönünü tersine çevirebilecek şekilde kanat açıları ayarlanabilir tasarımda yapılmıştır. Ocağa yeterli miktarda temiz hava gönderilememesi durumunda, ortam havasındaki oksijen miktarının düşmesi, zararlı gaz ve toz konsantrasyonlarının artması söz konusudur. Bu sonuç çalışanların sağlığını ve iş verimini olumsuz yönde etkilemekte, boğulma, zehirlenme, yangın ve patlama ile sonuçlanan iş kazalarına ortam hazırlamaktadır. Yeterli olmayan hava miktarı gibi ocağa gereğinden fazla hava verilmesi de birtakım istenmeyen durumlara neden olmaktadır. Fazla miktarda hava, kaçakları artırır, havaya karışan toz miktarını artırır, soğutma etkisi nedeniyle çalışanları rahatsız eder ve havalandırma maliyetlerinin yükselmesine neden olur (Ayvazoğlu, 1984). Dolayısıyla, hazırlık ve üretim çalışmalarının sürdürüldüğü ocak kesimlerine gönderilmesi gereken hava miktarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. İşletmeye ait havalandırma planı Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. İşletmeye ait havalandırma planı

İşletmede 4 adet hava ölçüm istasyonu vardır. Doğal havalandırma kış aylarında İstasyon 1'den giriş yaparak İstasyon 4'ten çıkış sağlamaktadır. Yaz aylarında ise tam tersi hareket göstermektedir. Bu ölçüm istasyonlarının kotları Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. 5.Viraj Ocağı hava ölçüm istasyon noktalarının kotları

5. YÖNTEM VE TEORİK BİLGİ

Son on yılda yapay zekâ hem yurtiçi hem de yurtdışında önemli bir konu haline gelmiştir. Bilimsel çalışmalar; içinde çok sayıda makale teknoloji tabanlı olan ve olmayan dergiler makine öğrenimi konularını ele almaktadır. Literatürde yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme konularında pek çok yeni çalışmaya rastlanmaktadır.

Veri bilimi, yapılandırılmış ve yapılandırılmamış verilerden bilgi ve öngörüler çıkarmak için bilimsel yöntemler, süreçler, algoritmalar ve sistemleri kullanan disiplinler arası bir alandır (Dhar, 2013). Veri bilimi disiplinler arası doğasını ve bilimsel yöntemler ve algoritmalar kullanarak çeşitli veri türlerinden öngörüler çıkarma odağında çalışmaktadır.

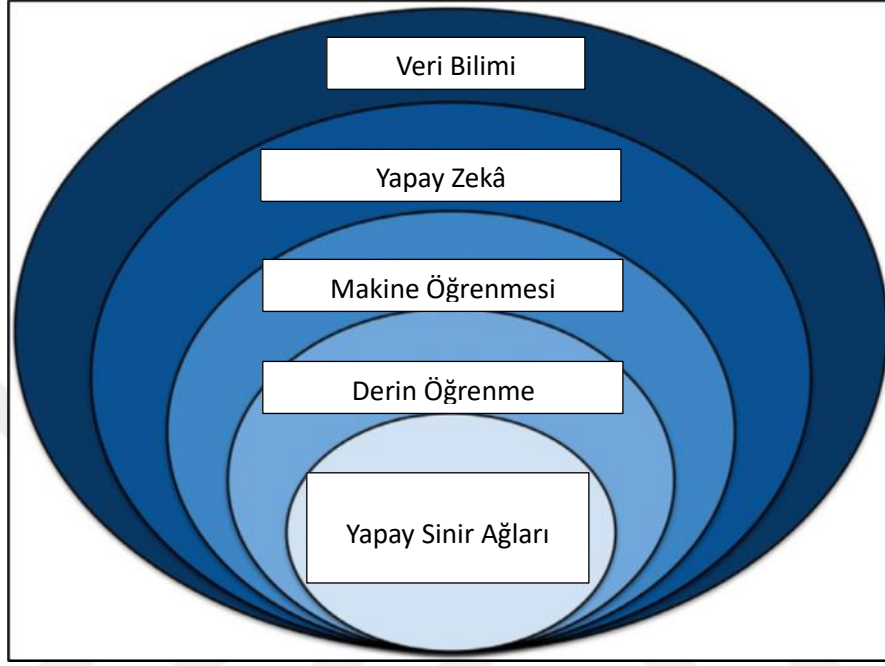
Yapay Zekâ (YZ), makinelerin karmaşık problemleri insan benzeri bir şekilde çözümleyebilmesi için geliştirilen algoritmalar ve sistemlerin toplamıdır. YZ, insan zekâsının özelliklerini kullanarak öğrenme, akıl yürütme ve problem çözme gibi görevleri yerine getirmeyi hedefler (Russell ve Norvig, 2020).

Makine öğrenmesi (MÖ), bilgisayarlara açıkça programlanmadan öğrenme yeteneği kazandıran bir çalışma alanıdır (Samuel, 1959). Makine öğreniminde veri ve deneyimden yola çıkarak otomatik olarak öğrenme kapasitesi oluşturulur.

Derin öğrenme (DÖ), girdi verisinden giderek daha yüksek seviyeli özellikler çıkarmak için birden fazla katman kullanan bir makine öğrenimi algoritması sınıfı olarak tanımlanır (LeCun vd., 2015). Derin öğrenme modellerinin verilerden karmaşık özellikler çıkarmak için hiyerarşik bir yapı kullanımını sağlamaktadır.

YSA, biyolojik sinir ağlarının yapısından ve işleyişinden esinlenerek oluşturulan, bilgiyi ağırlıklı bağlantılar aracılığıyla işleyen bağlantılı düğümlerden (sinir hücreleri) oluşan hesaplama modelleridir (Haykin, 1994).

Yapay zekâ (YZ), veri bilimi alanı içinde yer alır ve klasik programlamayı ve makine öğrenimini (MÖ) içerir. MÖ, derin öğrenme (DÖ) ve YSA gibi birçok model ve yöntemi içerir (Choi vd., 2020). Veri bilimi tekniklerinin genel şemsiyesi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Veri bilimi tekniklerinin genel şemsiyesi (Choi vd., 2020)

Bir sinir ağı, milyarlarca sinir hücresinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Sinir hücreleri birbirleri ile bağlanarak fonksiyonlarını yerine getirirler. İnsan beyinde yaklaşık 10 milyar adet sinir ve bunların da 60 trilyondan fazla sayıda bağlantısı vardır. İnsan beyni çok hızlı çalışabilen mükemmel bir bilgisayar gibi görülebilir. Bir grup insan resmi içerisinde tanıdık bir resmi 100-200 ms (milisaniye) gibi kısa bir sürede tanıyabilir (Öztemel, 2016).

5.1. YSA'nın Tanımı

YSA, verileri işlemek ve öğrenmek amacıyla yapılandırılmış düğüm (nöron) tabanlı bir sistemdir. Bu sistem, girdi katmanından başlayan ve çıktıyı üreten bir çıktı katmanına ulaşan bir veya daha fazla gizli katmandan oluşur. Her düğüm, girdi verilerini alır, ağırlıklandırır ve bir aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla çıktıya dönüştürür. Eğitim süreci, modelin ağırlıklarını optimize etmek için geribildirim döngüleri kullanarak, örnek veri setleri üzerinde gerçekleştirilir (Haykin, 2009).

5.2. YSA'nın Tarihsel Gelişimi

1943 yılında McCulloch ve Pitts tarafından yayınlanan makaleyle atılmıştır. YSA'ların hesaplama modellerinin ilk kez ele alındığı bu çalışmanın ardından, 1954'te Farley ve Clark, uyarılara uyum sağlayan ve tepki verebilen bir ağ modeli üzerinde önemli bir çalışma yayınlamışlardır. Benzer bir araştırma ise 1956'da Rochester, Holland, Haibit ve Duda tarafından yapılmıştır. (Rochester vd., 1956).

1958 yılında Rosenblatt'ın algılayıcı modelini geliştirmesi, YSA benzetiminde önemli bir dönüm noktası olmuştur (Rosenblatt, 1958). Ancak, Minsky ve Papert'in çalışmaları, algılayıcının doğrusal olmayan problemlerde yetersiz olduğunu göstermiş ve bu alandaki ilerlemeyi bir süreliğine yavaşlatmıştır. (Minsky ve Papert, 1969).

1960'ların sonlarına doğru ve 1970'lerin başlarında, YSA üzerindeki araştırmalar neredeyse durdu. Bu dönemde, YSA'nın sınırlamaları ve tek katmanlı yapılarının karmaşık problemleri çözmedeki yetersizliği nedeniyle ilgi azaldı.

Ancak, 1980'lerin sonlarında ve 1990'ların başlarında, araştırmacılar çok katmanlı sinir ağlarını (multilayer neural networks) ve geri yayımlı öğrenme algoritmalarını yeniden keşfetmeye başladılar. Bununla birlikte, bilim insanlarının bağımsız olarak çok katmanlı algılayıcıyı geliştirmeleri ve 1986 yılında Rumelhart ve ekibinin geri yayılım algoritmasını ortaya koymasıyla, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde büyük bir adım atılmış ve YSA, daha geniş bir akademik ilgi kazanmaya başlamıştır (Rumelhart vd., 1986).

Özellikle, 2010'larda, derin öğrenme yöntemlerinin büyük veri ve güçlü bilgisayar kaynaklarıyla birleştirilmesiyle YSA'daki ilerleme hızlanmıştır. Bu dönemde, YSA, görsel tanıma, ses tanıma gibi birçok alanda devrim niteliğinde başarılar elde etmiştir.

5.3. YSA Bileşenleri ve Yapısı

YSA, insan düşünce sistematığının makinalara uyarlanmış şeklidir. YSA'nın en önemli özelliği, kendisine tanıtılan bilgileri öğrenerek edindiği tecrübelerle, farklı durumlar

için çıkarsama yapabilme yeteneğidir. Böylece YSA modellemeleri, uygulamalardaki farklı durumlara kolay ve hızlı bir şekilde uyum sağlayabilir. Bu yetenekleri nedeniyle, bilgisayar teknolojilerindeki hızlı gelişmeler paralelinde, YSA mühendislik ve teknoloji alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kartalopoulos, 1996; Öztemel, 2003).

YSA, adlarından da anlaşılacağı gibi, biyolojik (insan veya hayvan) merkezi sinir sisteminin sinir hücresi (nöronları) ağlarındaki karar sürecini büyük bir şekilde simüle etmeye çalışan hesaplama ağlarıdır. Bu simülasyon, büyük bir hücre-hücre (nöron-nöron, eleman-eleman) simülasyonudur. Biyolojik nöronların nörofizyolojik bilgisinden ve bu tür biyolojik nöronların ağlarından ödünç alır. Bu nedenle, bilgisayar öğelerinin ve bunların ağlarının organizasyonuna bakılmaksızın insan beyni hesaplamasını değiştirmeye, geliştirmeye veya hızlandırmaya hizmet eden geleneksel (dijital veya analog) bilgisayar makinelerinden farklıdır. Yine de, sinir ağlarının sağladığı simülasyonun çok büyük olduğu tartışılmaz bir gerçektir (Graupe, 2019).

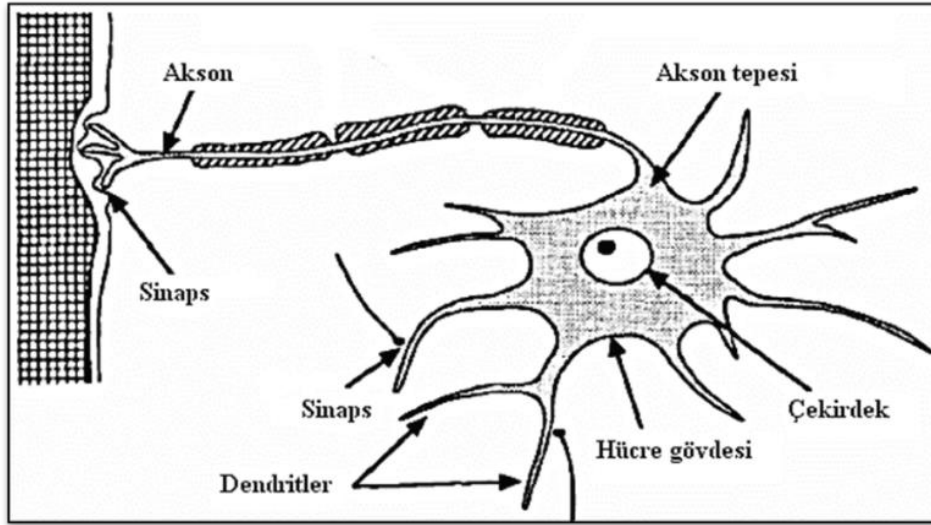
5.3.1. Biyolojik nöron

YSA, biyolojik nöronların işlevselliğinden esinlenmiştir. Nöron, bir sinir hücresidir ve sinir sisteminin temel yapı taşlarından biridir. Şekil 5.2’de verilen bir biyolojik nöron genellikle üç ana bölüme ayrılır:

1- Hücre Gövdesi (Soma): Biyolojik nöronun merkezidir. Soma, çekirdek ve diğer hücresel organelleri içerir. Sinir hücresinin çeşitli işlevlerini gerçekleştirmesi için gerekli olan proteinlerin sentezlendiği ve metabolizmanın gerçekleştiği yerdir.

2- Dendritler: Nöronun çıkıntı yapan dallarıdır. Dendritler, diğer nöronlardan veya duyu hücrelerinden gelen sinirsel uyarıları alır ve hücre gövdesine iletmek üzere onları sinir hücresine ileten elektriksel sinyalleri oluşturur. Bu süreç, sinirsel iletimin başlangıcıdır.

3-Akson: Nöronun uzun, ince uzantısıdır. Akson, hücre gövdesinden çıkar ve diğer nöronlara veya etkilediği hedef dokulara sinirsel sinyalleri iletmek için kullanılır. Bu sinyaller, kimyasal veya elektriksel olarak iletilir ve sinirsel iletimin devamını sağlar.



Şekil 5.2. Biyolojik nöronun yapısı (Nabiyev, 2003)

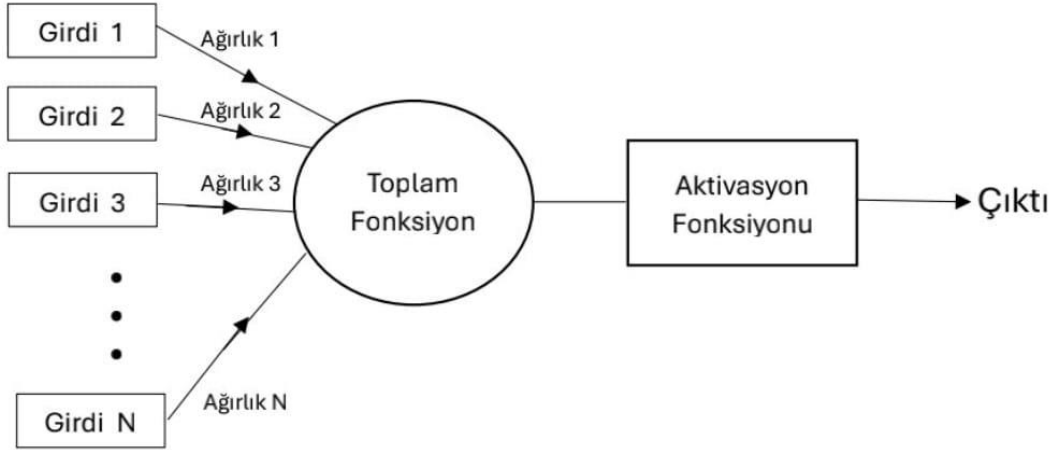
5.3.2. Yapay nöron

Biyolojik nöronlar, insan beyninin temel yapı taşlarını oluşturur. Öte yandan, YSA, bir nöronu temel alarak oluşturulan ve beyinlere benzetilen bilgisayar algoritmalarıdır, belirli hesaplama görevlerini gerçekleştirmek üzere modellenmiştir (Mano ve Ciletti, 2014).

Daha önce belirtildiği gibi, biyolojik sinir sistemindeki en küçük bilgi işleme birimi biyolojik nöronlardır. Aynı şekilde, bu biyolojik nöronlardan ilham alınarak tasarlanan yapay nöronlar da yapay sinir ağlarının temel bilgi işleme birimlerini oluşturur.

Farklı yapay nöron modelleri tasarlanırken çeşitli farklılıklar görülebilir. Ancak genel olarak bir nöronun yapısı ve bileşenleri Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

YSA'ların yapısı ve hesaplaması genellikle katmanlara düzenlenir, her katman bir önceki katmandan girdi alır ve başka bir katmana gönderir. Katmanlar şu şekilde kategorize edilir: 1. Giriş katmanları 2. Çıkış katmanları ve 3. Gizli katmanlar. Giriş katmanı belirli bir değer kümesine başlangıç olarak ayarlanır ve gizli katmanlar tarafından gerçekleştirilen hesaplamalar, çıkış katmanlarının değerlerini günceller; bu da bütün ağın çıktısını oluşturur (Russell ve Norvig, 2020).



Şekil 5.3. Yapay nöronun yapısı (Öztemel, 2016)

Girdiler: Sistemin dış çevresinden veya diğer nöronlardan gelen bilgi akışıdır. Bu bilgiler, ağırlık öğrenmesi gereken örneklerle belirlenir.

Ağırlıklar: Nörona ulaşan girdilerin matematiksel katsayılarını ifade eder ve bu katsayılar, girdilerin nöron üzerindeki etkisini belirler. Her bağlantı noktası için farklı ağırlık değerleri atanabilir, böylece ağırlıklar tüm girdilerin nöron üzerindeki etkisini kontrol eder.

Birleştirme fonksiyonu: Toplama fonksiyonu olarak da bilinir ve genellikle girdiler ile onların ağırlıklarının çarpımının toplamını hesaplar. Bunun yanında maksimum, minimum, normalizasyon gibi işlemler yapabilir veya ağ tasarımcısının belirlediği özel bir fonksiyon olarak da tanımlanabilir.

Aktivasyon fonksiyonu: Birleştirme fonksiyonu sonucunu, belirli bir aktivasyon işlemi ile işleyerek nöronun çıktısını belirleyen fonksiyondur.

5.3.3. YSA'nın yapısı

YSA, mimarilerine, mimarilerine, öğrenme sürelerine ve kullanılan öğrenme algoritmalarına göre üç ana sınıfa ayrılarak incelenir.

Çok katmanlı YSA'da, her bir katmandaki nöronlar, bir sonraki katmanın tüm nöronları ile bağlantılıdır. Ancak aynı katmandaki nöronlar arasında herhangi bir bağlantı bulunmaz. Giriş katmanındaki nöronlardan alınan bilgiler, bağlantı ağırlıklarıyla çarpılarak gizli katmana aktarılır.

Gizli katmanda, net giriş değeri hesaplanır ve bağlantı ağırlıklarıyla çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanında, gelen bilgilere dayanarak uygun bir çıktı üretilir (Elmas, 2011).

Tek katmanlı YSA, karmaşık ilişkiler içeren problemleri çözmekte yetersiz kaldığında, en az bir gizli katmana sahip olan çok katmanlı YSA kullanılması gereklidir. Karmaşık bir problemi YSA ile çözmek için, gizli katman sayısı ve katmandaki nöron sayısını belirlemek adına net bir yöntem bulunmamakla birlikte, deneme-yanılma yöntemiyle en düşük performans fonksiyonunu veren yapı belirlenir.

Gizli katmanların veya bu katmanlardaki nöron sayısının artırılması genellikle ağın doğruluğunu artırır; ancak bu durum ağın eğitim süresini uzatabilir. Ayrıca, ağı öğrenmek yerine ezber yapma riski doğabilir. Bu da farklı durumlarla karşılaşıldığında yanlış tahminlere yol açabilir (Öztemel, 2016).

5.4. YSA'nın Sınıflandırılması

Farklı ağ mimarileri, öğrenme yöntemleri ve nöronların bağlantı stratejileri gibi özelliklerle birbirinden ayrılan birçok YSA yapısı bulunmaktadır. Genel olarak YSA'lar, üç ana kriter doğrultusunda sınıflandırılır: ağı yapısı, öğrenme algoritması ve kullanılan veri türüdür.

5.4.1. Yapılarına göre YSA çeşitleri

- Yapay sinir ağları (YSA), yapılarına göre iki ana gruba ayrılır: ileri beslemeli ağlar ve geri beslemeli ağlar.

- İleri beslemeli ağlar: Bu tür ağlarda, nöronlar yalnızca ileri yönde işlem yapar. Yani, bir katmandaki nöronlar sadece bir sonraki katmandaki nöronlarla bağlantılıdır ve geriye doğru bağlantılar bulunmaz. Statik bir yapıya sahip olan bu ağlarda döngüler yer almaz, bu da YSA'nın çıktısını hızlı bir şekilde üretmesini sağlar. Nöronlar, katmanlar halinde düzenlenmiştir ve her katmandaki nöronların çıktıları, belirli ağırlıklarla çarpılarak bir sonraki katmana iletilir. Bilgiler bu şekilde gizli katmanlardan geçerek çıkış katmanına ulaşır ve ağın çıktısı elde edilir (Zhang vd., 1998).

- Geri beslemeli ağlar: Bu ağlarda, nöronlar yalnızca ileri yönde değil, aynı zamanda geri yönde de işlem yapabilir. Bir katmandaki nöronlar, hem ileri hem de kendi katmanları veya önceki katmanlarla bağlantılıdır. Bu sayede girdiler çift yönlü iletilir. Dinamik bir yapıya sahip olan geri beslemeli ağların önemli bir özelliği, bölgesel olarak dağıtılmış bir hafızaya sahip olmalarıdır. Bu tür ağlarda, ağın belirli bir andaki çıktısı, yalnızca o ana ait girdileri değil, aynı zamanda önceki girdilerden gelen bilgileri de içerir (Elman, 1990).

5.4.2. Öğrenme algoritmalarına göre YSA çeşitleri

YSA'da öğrenme, nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının ağın istenen işlevi yerine getirmesi için ayarlanması sürecidir. Bu ağırlıkların nasıl değiştirileceği, öğrenme kurallarıyla tanımlanır. Öğrenme algoritmaları ise genel olarak iki kategoriye ayrılır: danışmalı öğrenme ve danışmansız öğrenme.

- Denetimli Öğrenme: Bu türde, ağa hem giriş verileri hem de karşılık gelen çıktılar sağlanmaktadır. İleri yönlü olarak, çıkış katmanındaki her düğüm için istenen ve gerçek cevap arasındaki hatalar veya farklar bulunur. Bu hatalar daha sonra geçerli öğrenme kuralına göre ağırlık değişikliklerini belirlemek için kullanılmaktadır. "Denetimli" terimi, bireysel çıkış düğümlerindeki istenen sinyallerin dış bir öğretmenden sağlandığı gerçeğinden gelir. Denetimli öğrenmenin örnekleri arasında delta kuralı ve perceptron kuralı bulunmaktadır (Liu ve Wu, 2012).

- Denetimsiz Öğrenme: adından da anlaşılacağı üzere, bir danışman gereksinimi olmadan ağın istenen davranışı kendi kendine öğrenmesini sağlayan bir algoritmadır. Bu tür öğrenme algoritmalarında, ağ girdileri daha ayrıntılı bir şekilde analiz eder ve aralarındaki

benzerlikleri tespit eder. Danışmansız öğrenme ağları, bu özellikleri sayesinde genellikle sınıflandırma problemlerinin çözümünde tercih edilir (Yazıcı vd., 2023).

- **Takviyeli Öğrenme:** Bu tür öğrenme, hem denetimli hem de denetimsiz öğrenmeye dayanmaktadır. Takviyeli öğrenme, durumları eylemlere eşlemek için ne yapılacağını öğrenmek olup böylece sayısal bir ödül sinyalini maksimize etmektedir. Bu öğrenmede, doğru çıkışlar için ödül ve yanlış çıkışlar için ceza bulunmaktadır. Takviyeli öğrenme ayrıca öğretmenle öğrenme yerine eleştirmenle öğrenme olarak da adlandırılmaktadır (Sutton ve Barto,1999).

5.4.3. Kullanılan veri türlerine göre YSA çeşitleri

Yapay sinir ağları (YSA), girdi olarak kullanılan verinin türüne göre de sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmaya göre, YSA'lar iki ana gruba ayrılır: niteliksel veri kullanan ağlar ve niceliksel veri kullanan ağlar.

Niteliksel veri kullanan ağlar, YSA girişlerinde kalitatif (niteliksel) veri kullanan ağ türleridir. Bu ağlar, genellikle desen oluşturma ve sınıflandırma problemlerinde kullanılır.

Niceliksel veri kullanan ağlar ise, girişlerinde kantitatif (niceliksel) veri kullanan ağ türleridir. Bu ağlar, genelleme ve tahmin gibi problemlerin çözümünde tercih edilir.

5.5. YSA'nın Eğitilmesi ve Testi

Bir yapay sinir ağının (YSA) eğitilmesi ve test edilmesi, tasarlanan ağ yapısının performansını değerlendirmek açısından büyük öneme sahiptir. YSA'da eğitim, ağdaki nöronlar arasındaki bağlantılara ait ağırlık değerlerinin, ağın giriş verilerine göre ve hedeflenen çıkışları elde etmek amacıyla ayarlanması sürecidir. Buradaki ana hedef, ağın girişleri için doğru çıktıları üretecek uygun ağırlık değerlerinin bulunmasıdır.

YSA'da test işlemi ise, ağ parametrelerinde herhangi bir değişiklik yapmadan, ağın istenilen davranışı gerçekleştirebilme yeteneğinin kontrol edilmesidir. Eğitim ve test süreçlerine ilişkin detaylar ilerleyen bölümlerde açıklanacaktır.

5.5.1. YSA'nın eğitimi

YSA'nın istenilen performansı sergileyebilmesi için, öncelikle uygun bir veri seti ile eğitilmesi gerekir. Bu veri setine eğitim seti denir. Eğitim setinin YSA'ya sunulması sürecinde bazı eğitim parametreleri ve öğrenme kuralları önemli bir rol oynar.

5.5.1.1. Eğitim parametreleri

YSA tasarımı, ağı tanımlamak için çeşitli eğitim parametreleri kullanılır ve bu parametrelerin uygun değerleri deneme-yanılma yoluyla belirlenir. Aşağıda, en temel eğitim parametreleri ve açıklamaları verilmiştir:

1-Yineleme sayısı (Epoch): Bu parametre, YSA'nın eğitim sürecinde giriş verisinin ağda kaç kez işleneceğini belirler.

2-Hedef (Goal): YSA'nın çıkışında, hedeflenen sonuca ulaşılan kadar kabul edilebilecek hata oranını belirleyen parametredir. Ağ eğitimi, belirlenen hata oranına ulaşılan kadar devam eder.

3-Öğrenme oranı (Lr-Learning rate): YSA eğitiminin yoğunluğunu ifade eden bu parametre, öğrenme kuralına göre belirlenir ve ağı hızını ayarlamak için kullanılır (The MathWorks, 2024).

YSA'nın eğitim süreci iki aşamadan oluşur. İlk aşama, ağı mevcut giriş verisine göre çıktısını üretmesidir. İkinci aşama ise bu çıktının hedeflenen hata değerinden ne kadar uzak olduğunu ölçüp, ağırlıkları yeniden ayarlamaktır. YSA'da eğitim sürecini yönlendiren algoritmalar, öğrenme kuralları olarak bilinir.

5.5.1.2. Öğrenme kuralları

YSA, nöronlar arasındaki ağırlıkların nasıl değiştirileceği, uygulanan öğrenme kuralına bağlı olarak farklılık gösterir. Temel öğrenme kuralları arasında Hebb kuralı, Hopfield kuralı, Delta kuralı ve Kohonen kuralı yer alır (Öztemel, 2016).

Hebb kuralı: Hebb tarafından geliştirilen bu öğrenme kuralı, biyolojik sinir ağlarının işleyişinden ilham alınarak oluşturulmuştur (Hebb, 1949). Bu kuralda, bir yapay sinir hücresinin başka bir hücreden girdi alması ve her iki hücrenin polaritelerinin aynı olması durumunda, bu hücreler arasındaki bağlantı ağırlığı artırılır.

Delta kuralı: Widrow ve Hoff, Hebb kuralını geliştirerek Delta kuralını ortaya koymuşlardır (Widrow ve Hoff, 1960). Yaygın olarak kullanılan bu kural, en küçük kareler (LMS - Least Mean Square) kuralı olarak da bilinir. Burada, YSA'nın beklenen çıkışı ile gerçek çıkışı arasındaki farkın karesi minimize edilmeye çalışılır ve bu, bağlantı ağırlıkları değiştirilerek yapılır.

Hopfield kuralı: Hopfield kuralı, Hebb kuralına benzer bir yöntemdir, ancak burada ağırlıkların değişim miktarı da belirlenir. Her yinelemede, ağırlıklardaki değişiklik miktarı, tasarımcı tarafından seçilen bir öğrenme katsayısı oranında olur. Eğer giriş ve çıkış nöronları aynı polariteye sahipse, bağlantı ağırlıkları öğrenme katsayısı kadar artırılır; farklı polaritelerde ise bu ağırlık aynı oranda azaltılır (Hopfield, 1982).

Kohonen kuralı: Kohonen tarafından geliştirilen bu öğrenme kuralı (Kohonen, 1982), nöronların YSA'ya verilen girdileri öğrenirken birbirleriyle yarışmasını esas alır. Eğitim setinin beklenen çıktısına en uygun sonucu üreten nöronların ağırlıkları ayarlanarak etkileri güçlendirilir. Sonuca yakın olan nöronların ağırlıkları 1'e yaklaşırken, daha uzak olanların ağırlıkları 0'a yaklaşır. Yani, ağırlıkları 1'e en yakın olan nöronlar kazanır.

YSA, yukarıda belirtilen öğrenme kurallarından biriyle eğitildikten sonra, tasarımın istenen performansı gösterip göstermediği test edilmelidir.

5.5.2. YSA'nın doğrulaması

Doğrulama aşaması, modelin hiperparametrelerini ayarlamak ve eğitim sürecinde overfitting'i (aşırı öğrenme) önlemek için kullanılan bir süreçtir. Doğrulama veri kümesi, eğitim veri kümesinden bağımsızdır ve modelin performansını izlemek için kullanılır (Chollet, 2017).

5.5.3. YSA'nın testi

Bir yapay sinir ağı (YSA), olası giriş ve çıkışları öğrendikten sonra, belirtilen problem için bir test seti ile test edilir. Bu test seti, eğitim setinde yer almayan örneklerden oluşmalıdır. Test işlemi sırasında, ağın ağırlıklarında herhangi bir değişiklik yapılmaz; sadece ağın çıktısı hesaplanır ve değerlendirilir.

5.5.4. YSA'nın iyileştirilmesi

YSA'nın performansını artırmak için, ağ yapısındaki belirli parametrelerin optimize edilmesi gerekebilir. Örneğin, daha karmaşık bir problemin çözümü için saklı katman sayısının ve her katmandaki nöron sayısının artırılması uygun olabilir. Ancak, bu artışlar ağı işlem yükünü ve sistem hızını etkileyebilir, bu yüzden dikkatlice dengelenmelidir.

Eğitim ve test işlemleri, tasarlanan ağı performansını değerlendirme açısından kritik öneme sahiptir. Eğitimde, ağırlık değerleri, ağı giriş verileri doğrultusunda ve doğru çıktıları elde etmeyi amaçlayarak ayarlanır. Testte ise, ağırlıklar sabit tutulur ve ağı doğru davranışı sergileyip sergilemediği kontrol edilir (Haykin, 1994).

Sonuçların belirli bir yerel minimum ya da maksimumda sıkışması gibi durumlar, eğitimin veya testin sınırlarıyla ilişkilidir.

5.6. YSA Modelleri

YSA disiplini geniş bir araştırma alanına sahiptir ve literatürde yüzlerce farklı ağ modeli ve bu modellerin kullanıldığı çok çeşitli uygulamalar bulunmaktadır. Yaygın YSA modelleri arasında çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA), radyal tabanlı fonksiyonlar, Hopfield ağları, öz örgütlenmiş haritalar, ART ağları ve hücresel sinir ağları sayılabilir. Bu yazıda, sadece konuşma tanıma problemi için kullanılan bazı ağ yapıları ele alınacaktır.

5.6.1. Çok katmanlı algılayıcı

YSA teknolojisi ilk ortaya çıktığında, doğrusal olmayan problemlerin çözülmesinde yetersiz kaldığı eleştirileri yapılmıştır. Ancak, Rumelhart, Hinton ve Williams tarafından geliştirilen Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) modeli, bu sorunu çözmüştür (Rumelhart vd., 1986).

ÇKA, ağın beklenen çıktısı ile ağın ürettiği çıktı arasındaki farkı minimize etmek amacıyla eğitilir. Yapısı ileri beslemeli olup döngüsüzdür, bu da hızla sonuca ulaşmayı mümkün kılar.

ÇKA genellikle bir giriş katmanı, en az bir saklı katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Saklı katman sayısı ve nöron sayıları, genellikle deneme-yanılma yöntemiyle belirlenir.

Bu ağ modeli, farklı öğrenme algoritmalarını kullanabilmesi nedeniyle mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilir. ÇKA, özellikle tanıma, veri sınıflandırma ve genelleme problemlerinde etkili sonuçlar verir.

5.6.2. Elman ağları

Elman ağları, geri yayımlı ağlar (recurrent networks) kategorisinde yer alır ve temelde iki katmanlı geri yayımlı ağlardır (Elman, 1990). Bu ağlar, ilk saklı katmandan çıkış alınarak bu çıkışın tekrar aynı katmana beslenmesiyle bir geri besleme döngüsü içerir. Bu yapı, Elman ağlarını tahmin, tanıma ve eğri uydurma gibi uygulamalar için uygun hale getirir.

Elman ağlarında, ilk saklı katman tanjant sigmoid fonksiyonu kullanırken, ikinci katman doğrusal transfer fonksiyonları kullanır. Bu yapı, ağların daha karmaşık problemlere çözüm üretmesini sağlar.

5.6.3. Olasılıksal sinir ağıları

Olasılıksal Sinir Ağları (OSA), nöronlar arası bağlantı ağırlıklarını olasılık yoğunluk fonksiyonlarına dayanarak hesaplar (Specht, 1988, 1990). İstatistiksel temelli bu yapılar, özellikle sınıflandırma problemlerinde etkilidir.

Bir OSA yapısında, giriş katmanı, iki saklı katman ve çıkış katmanından oluşur. İlk saklı katmanda giriş verisinin eğitim verisine olan uzaklığı hesaplanır. İkinci katmanda ise bu uzaklıklar toplanarak çıkış vektörü olasılıkları bulunur ve en yüksek olasılığa sahip model sınıfı çıkış olarak belirlenir (Makal ve Kizilay, 2007).

OSA ağları genellikle daha hızlı eğitim sürecine sahipken, sınıflandırma işlemi daha uzun sürebilir. Ancak, diğer ağ türlerine göre daha doğru sonuçlar üretir.

5.7. YSA Özellikleri

YSA'nın sahip olması gereken bazı temel özellikler şunlardır (Güngör, 2007):

1. YSA'lar, karmaşık problemlerin çözümünde doğrusal olmayan yapıları sayesinde büyük avantaj sağlar. Bu doğrusal olmayan yapı, ağıın gücünü ve esnekliğini artırır.

2. Öğrenme: YSA, verilen eğitim verileriyle öğrenir ve ardından öğrendiklerini kullanarak kararlar alır. Değişen problemlere uyum sağlamak için yalnızca eğitim verisinin değiştirilmesi yeterlidir, ağıın yapısında bir değişiklik yapılmasına gerek yoktur.

3. Genelleme: YSA, eğitim verisindeki hata veya eksikliklere rağmen doğru sonuçlar verebilir. Bu özellik, örüntü tanıma ve sınıflandırma gibi alanlarda başarı sağlar.

4. Paralellik: YSA'lar, paralel işlem yapabilme özellikleri sayesinde, karmaşık işlemleri hızlı bir şekilde gerçekleştirir ve gerçek zamanlı sistemlere uyum sağlar.

5. Hata toleransı: YSA'lar, paralel işlem yapma yetenekleri sayesinde, sistemdeki herhangi bir elemanın hataya uğraması durumunda bile ağıın genel işleyişi bozulmaz, yalnızca işlevselliğini kaybeden nöronlar oranında performans düşer.

6. YSA tasarımları, temel olarak nöronlardan oluşur. Bu benzerlik, farklı uygulamalarda standart ağ yapılarının ve öğrenme algoritmalarının kullanılmasını mümkün kılar, böylece tasarım ve analiz süreçlerini kolaylaştırır.

5.8. YSA’da Kullanılan Paket Programlar

YSA’da kullanılan uygulamalı programlar;

- Neural Network Toolbox for Matlab, Matlab için yapay sinir ağı aracıdır.
- Java Object Oriented Neural Engine (Joone) olan kütüphane Java ortamında YSA’nın kullanılması için geliştirilmiştir. Ayrıca görsel olarak yapay sinir ağıının oluşturulması ve eğitilmesini sağlayan bir araca sahiptir.
- C++ programının içinde yer alan Annie kütüphanesi açık kaynaklı kodlu bir kütüphane olarak geliştirilmiştir. MLP, RBF ve Hopfield modellerini desteklemektedir.
- C programında FANN kütüphanesi ile bir yapay sinir ağı gerçekleştirilene bilinir. Benzerlerinin çoğundan daha hızlı çalışmaktadır.
- NeuroXL, MS Excel için yapay sinir ağı eklentisidir. Tahminleme, sınıflandırma ve özellikle finansal tahminleme için geliştirilmiştir.
- NeuroSolutions, birçok sinir ağı ve öğrenme algoritmasını destekleyen ticari bir yazılımdır.
- R-Programlama dilinde, YSA’yı kullanmak için MASS kütüphanesini kullanmak gerekir. Bu kütüphane çok esnektir ve analistin bir dizi algoritma, aktivasyon işlevi ve hata işlevi kullanarak ok sayıda gizli katmanla YSA’lar oluşturmaya olanak tanır.
- Python programında, YSA’yı oluşturmak için bazı kütüphaneler kullanılır. Bunlar: virtualenv, keras, numpy, tensorflow’ dır.

5.9. YSA Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Doğal havalandırma, yeraltı tünellerinde veya maden işletmelerindeki hava akışını, atmosferik basınç farkları veya sıcaklık farkları gibi doğal etkenlerle sağlayan bir havalandırma yöntemidir. Bu yöntem, maden içindeki havanın dışarıdan gelen temiz hava ile değiştirilmesini ve kirlenmiş havanın dışarı atılmasını amaçlar. Yeraltı madenlerinde, bu havalandırma genellikle doğal açıklıklar veya tünel girişleri aracılığıyla gerçekleşir ve madenin geometrisi ile yerel çevresel sonuçlar aşağıda açıklanmıştır. Koşullara bağlı olarak değişir (Hartman ve Mutmanský, 1997).

Tahmin etmeye ilişkin iki önemli adım bulunmaktadır; birincisi veriyi tahmin etmek için hazırlamadır. İkincisi ise farkı tahmin edici modellerin karşılaştırılmasıdır. Modelleri karşılaştırma ölçütleri; doğruluk, hız, sağlamlık, ölçeklenebilirlik, yorumlanabilirliktir. YSA ve makine öğrenmesi yöntemlerinin performans değerlendirmelerinde kullanılan temel performans göstergeleri arasında R, MSE, RMSE ve MAE sayılabilir (Karasu vd., 2018).

Bu çalışmada uyum iyiliği tablosunda verilen doğruluk ölçütleri kullanılmaktadır. Bu performans ölçüleri içerisinde R, korelasyon katsayısıdır. Bu katsayı değerinin +1'e yakın olması tahmin ilişkisinin iyi olduğunu gösterir.

MSE, RMSE ve MAE ise birer hata ölçüsü olması nedeniyle düşük sonuçlar, performans ile ters orantılı olarak yüksek performansı gösteren ölçülerdir (Wang ve Xu, 2004). Örneğin RMSE sıfıra eşit olması durumunda iyi bir performans göstermektedir (Çınaroğlu, 2017).

5.10. Uyum İyiliği Testleri

Uyum iyiliği, istatistiksel modellerin gerçek verilere ne kadar iyi uyduğunu ölçen bir kavramdır. İstatistiksel modellerin gerçek verilere ne kadar iyi uyduğunu değerlendirmek için çeşitli istatistiksel yöntemler ve göstergeler kullanılır.

5.10.1. R Korelasyon Katsayısı

R korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönünü ve gücünü ifade eden istatistiksel bir ölçüdür. Korelasyon katsayısı R, -1 ile +1 arasında bir değer alır.

R korelasyon katsayısı hesaplanırken, iki değişkenin her bir gözlemi arasındaki kovaryans değeri, değişkenlerin standart sapmaları ile normalize edilmektedir. Bu katsayı, Pearson korelasyon katsayısı olarak da bilinir ve doğrusal ilişkileri ölçmek için yaygın olarak kullanılır (Rumsey, 2016; Field 2013). Korelasyon katsayısı aşağıdaki eşitliklerle hesaplanabilir:

$$R = \frac{\sum (X - \bar{X}) \cdot (Y - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X - \bar{X})^2 \cdot \sum (Y - \bar{Y})^2}} \quad (5.1)$$

$$R = \frac{\sum x \cdot y}{\sqrt{\sum x^2 \cdot \sum y^2}} \quad (5.2)$$

$$R = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{n \sqrt{\left[\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right] \cdot \left[\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right]}} \quad (5.3)$$

5.10.2. Mean Square Error (MSE)

Performans fonksiyonu YSA'nın öğrenme performansını ölçmede kullanılan bir ölçüttür. İleri beslemeli ağlarda genellikle hata kareleri ortalaması (Mean Square Error-MSE) performans fonksiyonu olarak kullanılır (Krishnaswamy vd., 2000). MSE fonksiyonu istenen çıktı değerleri ile ağın ürettiği değerler arasındaki farkın kareleri toplamının ortalaması olup Eşitlik 5.4'te verilen formülle belirlenir:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_i]^2 \quad (5.4)$$

Burada:

y_i : İstenen(gerçek) çıktı değerini,

$\hat{y}_i$: Ağın ürettiği çıktı değerini,

n : Veri sayısını gösterir.

Hatanın sıfıra yaklaşması, istenen çıktı değerine yakın çıktı değerinin elde edilmiş olduğunu gösterir.

5.10.3. Root Mean Square Error-RMSE

Kullanılan diğer performans fonksiyonlarından bazıları hata kareleri ortalamasının karekökü (Root Mean Square Error-RMSE) ve ortalama mutlak hata (Mean Absolute Error-MAE) dır. Bunların denklem olarak gösterimi Eşitlik 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_i]^2} \quad (5.5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (5.6)$$

6. YSA'NIN DOĞAL HAVALANDIRMA TAHMİNİ İÇİN KULLANILMASI

6.1. Veri Analizi

Doğal havalandırma, ocak içi ve dışındaki, hava giriş ve çıkış kuyularındaki hava yoğunlukları farkına ve hava giriş ve çıkış kuyubaşları arasındaki kot farkına bağlıdır. Bu farkların büyüklüğü, hava giriş ve çıkış noktaları arasında büyük basınç farklarının oluşmasına ve bu nedenle de fazla miktarda havanın ocak içerisinde akmasına yol açar. 2. Bölümde verilen literatür araştırması ve 3. Bölümde verilen doğal havalandırma akışına etki eden faktörler dikkate alındığında; Sıcaklık (S), Basınç (B), Rüzgâr Hızı (RH), Nispi nem (N), Mevsim (M), Ay(A) ve Hava Yolu Kesit Alanı (K) olarak belirlenmiştir. Kot farkı sabit bir değişken olduğundan analizlerde girdi parametresi olarak kullanılmamıştır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğünden 2019-2022 yılları için Sıcaklık (S), Basınç (B), Rüzgâr Hızı (RH) ve Nispi nem (N) değerleri alınmış ve Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan veriler için Meteoroloji Genel Müdürlüğünden resmi yazışma ile veri talebinde bulunulmuştur.

Doğal yolla ocak içerisinde dolaşan hava akımının hızını YSA ile tahmin etmek için Kuru maden sahasında bulunan 5.Viraj ocağında devam eden madencilik faaliyetleri sırasında 2019-2022 yılları arasında ocak içinde belirlenen istasyonlardan hava hızı ölçümleri alınmıştır. Metalik yeraltı maden işletmesinde 2019-2022 yılları arasında sadece doğal havalandırmanın yapıldığı dönemlere ait 1080 adet hava hızı ölçümü kaydedilmiş olup veriler Çizelge 6.2'de verilmiştir. Mekanik havalandırmanın doğal havalandırmayı desteklemek amacıyla kullanıldığı dönemler dikkate alınmamıştır.

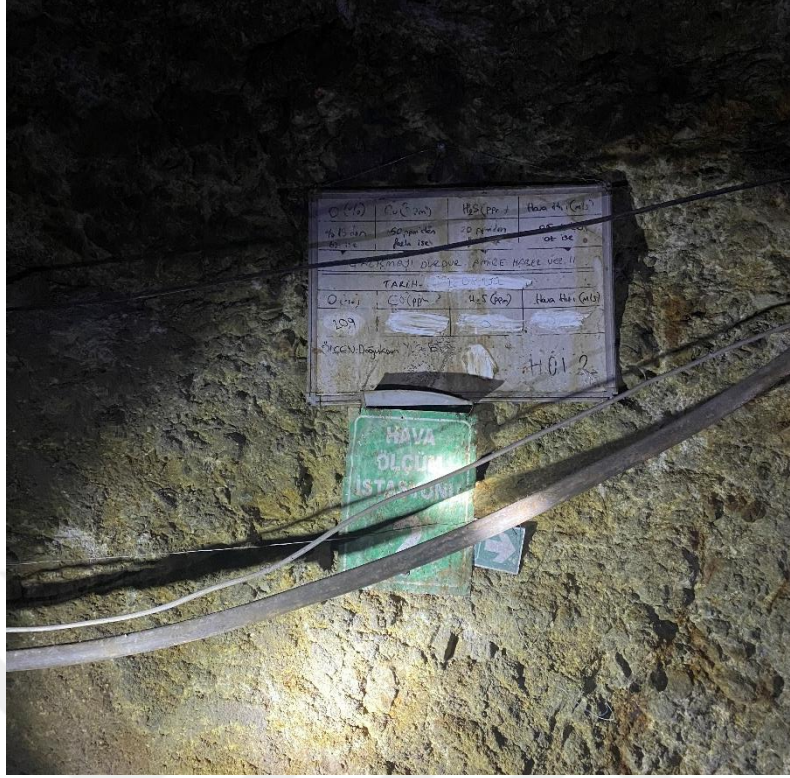
Çizelge 6.1. 2019-2022 yılları arası meteorolojik veriler

Sıra No	Yıl	Ay	Gün	Sıcaklık Çanakkale/Kirazlı Beldesi (°C)	Basınç Çanakkale Havalimanı (kPa)	Rüzgâr Hızı Çanakkale Havalimanı (m/s)	Nispi Nem Çanakkale/Kirazlı Beldesi (%)
1	2019	1	1	3.3	101.83	9	91.4
2	2019	1	2	2.9	101.24	5.3	100
3	2019	1	3	1.6	100.85	6.5	99.8
4	2019	1	4	0.1	101.54	7.4	100
5	2019	1	5	0.1	101.39	7.7	100
6	2019	1	6	-0.8	101.04	3.8	96.3
7	2019	1	7	-1.8	101.68	4.8	92.3
8	2019	1	8	-3.8	102.05	5.2	91.3
9	2019	1	9	-1.6	101.24	6	89.4
10	2019	1	10	8.5	100.5	9.4	97.1
11	2019	1	11	9	101.08	5.8	97.5
12	2019	1	12	4.6	101.17	7.1	100
13	2019	1	13	1.3	100.97	5.5	99.9
14	2019	1	14	2.9	100.31	2.5	94.4
15	2019	1	15	2.7	100.22	6.4	91
16	2019	1	16	0.2	101.53	3.8	66
17	2019	1	17	3.8	101.89	2.4	87.9
18	2019	1	18	6.6	101.75	4.9	86.4
19	2019	1	19	9.4	101.76	4.1	87
20	2019	1	20	9.1	101.67	3.4	93.5
21	2019	1	21	8.1	101.54	3.5	94.2
22	2019	1	22	5.7	101.58	4.1	96.7
23	2019	1	23	9.4	100.66	5.9	96
24	2019	1	24	7.9	99.78	3.9	97.8
25	2019	1	25	8.3	100.08	4.6	90
26	2019	1	26	6.9	99.81	4.6	98.5
27	2019	1	27	6.2	100.49	4.5	100
28	2019	1	28	6.8	100.79	3.5	95
29	2019	1	29	10.6	100.69	6.1	94.3
30	2019	1	30	10.5	100.3	5.6	72
31	2019	1	31	8.4	100.28	5	97.3
32	2019	2	1	8.2	101.41	3.8	81.3
33	2019	2	2	10.2	101.73	5.7	85.3
34	2019	2	3	11.9	101.75	3.7	78.4
35	2019	2	4	9.6	101.92	2.9	84.4
36	2019	2	5	10.7	101.76	4.6	71.8
37	2019	2	6	5.9	101.45	7.4	100
38	2019	2	7	3.2	101.78	8.6	100
39	2019	2	8	2	101.82	6.2	100

Çizelge 6.2. Maden ocağı hava hızı ölçümleri

Sıra No	Yıl	Ay	Gün	İstasyon1 (m/s)	İstasyon2 (m/s)	İstasyon3 (m/s)	İstasyon4 (m/s)
1	2019	1	1	0.8	0.7	0.6	1.3
2	2019	1	2	0.8	0.7	0.6	1.4
3	2019	1	3	0.9	0.9	0.5	1.4
4	2019	1	4	0.9	0.8	0.6	1.5
5	2019	1	5	0.9	0.8	0.6	1.5
6	2019	1	6	1.1	1.1	1	1.6
7	2019	1	7	1.1	1.1	1	1.6
8	2019	1	8	1	0.9	0.9	1.5
9	2019	1	9	1	0.9	0.9	1.4
10	2019	1	10	1	1	0.9	1.5
11	2019	1	11	0.9	0.8	0.8	1.4
12	2019	1	12	0.9	0.8	0.8	1.4
13	2019	1	13	0.9	0.8	0.8	1.4
14	2019	1	14	0.9	0.8	0.8	1.4
15	2019	1	15	0.9	0.8	0.8	1.5
16	2019	1	16	0.9	0.9	0.8	1.6
17	2019	1	17	0.9	0.8	0.8	1.5
18	2019	1	18	0.8	0.7	0.6	1.3
19	2019	1	19	0.8	0.7	0.6	1.3
20	2019	1	20	0.9	0.9	0.8	1.5
21	2019	1	21	0.9	0.9	0.8	1.5
22	2019	1	22	0.9	0.8	0.8	1.5
23	2019	1	23	0.9	0.9	0.7	1.4
24	2019	1	24	1	0.9	0.8	1.4
25	2019	1	25	0.9	0.8	0.8	1.3
26	2019	1	26	0.9	0.8	0.8	1.3
27	2019	1	27	1.1	1.1	1	1.6
28	2019	1	28	1.1	1.1	1	1.6
29	2019	1	29	1.1	1	0.9	1.6
30	2019	1	30	1	0.9	0.8	1.4
31	2019	1	31	0.9	0.8	0.8	1.3
32	2019	2	1	0.9	0.8	0.8	1.4
33	2019	2	2	0.9	0.8	0.8	1.4
34	2019	2	3	0.9	0.8	0.8	1.5
35	2019	2	4	0.9	0.8	0.8	1.5
36	2019	2	5	1	0.9	0.8	1.6
37	2019	2	6	0.8	0.8	0.7	1.4

İşletmenin 2 no'lu hava ölçüm istasyonuna ait bir fotoğraf ve anemometre ile ölçüm yapıldığı esnada çekilen fotoğraf sırasıyla Şekil 6.1 ve 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.1. 2 no'lu hava ölçüm istasyonu



Şekil 6.2. Anemometre ile hava hızı ölçümü

Tez kapsamında YSA ile ilgili analizleri gerçekleştirmek amacıyla SPSS ve Matlab paket programları kullanılmıştır.

6.2. Matlab Kullanılarak YSA ile Hava Hızı Tahmini

Yeraltı madenlerinde doğal hava akışını etkileyen parametreler başlangıçta sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı, nispi nem, rüzgâr yönü, hava yolu kesit alanı, aylar ve mevsim olarak belirlenmiştir. Bu verilerden Çizelge 6.1’ de verilen sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı, nispi nem sabit bir veri seti olarak kabul edilmiş, diğer verilerle birlikte değerlendirildiğinde Çizelge 6.2’ de verilen hava hızlarını tahminlemedeki anlamlılık düzeyleri incelenmiş ve yapılan çalışmalar sırasıyla aşağıda verilmiştir. Sıcaklık, basınç, rüzgâr hızı ve nispi nem veri seti modelleme çalışmalarında hava durumu olarak adlandırılmıştır.

Matlab programının YSA modülüne hava durumu ve ay verileri girilmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 6.3’te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Hava durumu ve ay verileri ile hava hızı tahmini

İstasyon No	Öğrenme		Doğrulama		Test	
	R	MSE	R	MSE	R	MSE
İstasyon 1	0.6646	0.0408	0.6292	0.0484	0.6352	0.0433
İstasyon 2	0.6514	0.0120	0.6157	0.0140	0.6520	0.0132
İstasyon 3	0.7048	0.0122	0.6824	0.0108	0.7158	0.0118
İstasyon 4	0.6701	0.0334	0.6475	0.0406	0.6714	0.0342

Çizelge 6.3 incelendiğinde hava durumu ve ay verilerinin hava hızı tahminleme yeteneği İstasyon 1,2,3,4 için R değeri 0,7 ve altında çıkmıştır. R değeri korelasyonu göstermektedir ve -1 ve 1 arasında bir değer alan bu katsayı tahmin edilen ile gerçek değerler arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu değer 1’e yakın olması istenmektedir (Sönmez Çakır, 2019). MSE değeri ise 0’a yakındır fakat, R kare değerinin 0,7’den düşük olması, modelin bağımlı değişkenin varyansını açıklamada sınırlı bir başarı gösterdiğini belirtebilir, ancak bu modelin başarısız olduğu anlamına gelmez. Modelin bağımsız değişkenleri, bağımlı değişkenin varyansını yeterince açıklamıyor olabilir. Bu nedenle bağımsız değişken arayışı içine girilmiştir.

Matlab programının YSA modülüne hava durumu, ay ve hava yolu kesit alanı verileri girilmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4’te verilmiştir.

Çizelge 6.4. Hava durumu, ay ve hava yolu kesit alanı verileri ile hava hızı tahmini

İstasyon No	Öğrenme		Doğrulama		Test	
	R	MSE	R	MSE	R	MSE
İstasyon 1	0.6430	0.0422	0.5545	0.0479	0.6456	0.0505
İstasyon 2	0.6533	0.0128	0.6307	0.0119	0.6042	0.0121
İstasyon 3	0.6761	0.0132	0.6425	0.0130	0.6958	0.0115
İstasyon 4	0.6839	0.0339	0.6462	0.0323	0.6591	0.0368

Çizelge 6.4 incelendiğinde hava durumu, ay ve hava yolu kesit alanı verilerinin hava hızı tahminleme yeteneği İstasyon 1,2,3,4 için R değeri 0,6 ve altında çıkmıştır. MSE değeri ise 0'a yakındır fakat R değerinin 0,6'dan düşük olması, modelin bağımlı değişkenin varyansını açıklamada sınırlı bir başarı gösterdiğini belirtebilir ve bir önceki modele göre daha az başarılı olduğu söylenebilir. Bu nedenle bağımsız değişken arayışı devam etmektedir.

Matlab programının YSA modülüne hava durumu ve hava yolu kesit alanı verileri girilmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Hava durumu ve hava yolu kesit alanı verileri ile hava hızı tahmini

İstasyon No	Öğrenme		Doğrulama		Test	
	R	MSE	R	MSE	R	MSE
İstasyon 1	0.8230	0.0221	0.8253	0.0246	0.8321	0.0251
İstasyon 2	0.5593	0.0147	0.5713	0.0148	0.5473	0.0148
İstasyon 3	0.5997	0.0148	0.6267	0.0149	0.6066	0.0166
İstasyon 4	0.7509	0.0261	0.7293	0.0337	0.7600	0.0279

Çizelge 6.5 incelendiğinde hava durumu ve ay verilerinin hava hızı tahminleme yeteneği İstasyon 1 ve 4 için R değeri 0,7'nin üstünde çıkmıştır MSE değeri ise 0'a yakındır fakat İstasyon 2 ve 3 'ün R değeri oldukça düşük çıkmıştır. Bir önceki modele göre daha az başarılıdır olduğu söylenebilir. Bu nedenle bağımsız değişken arayışı devam etmektedir.

Matlab programının YSA modülüne hava durumu, rüzgâr yönü ve hava yolu kesit alanı verileri girilmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. Hava durumu, rüzgâr yönü ve hava yolu kesit alanı ile hava hızı tahmini

İstasyon No	Öğrenme		Doğrulama		Test	
	R	MSE	R	MSE	R	MSE
İstasyon 1	0.8329	0.0237	0.8222	0.0221	0.8287	0.0214
İstasyon 2	0.5447	0.0148	0.5082	0.0171	0.5045	0.0154
İstasyon 3	0.6278	0.0143	0.6519	0.0134	0.6053	0.0153
İstasyon 4	0.7653	0.0251	0.7460	0.0301	0.7803	0.0254

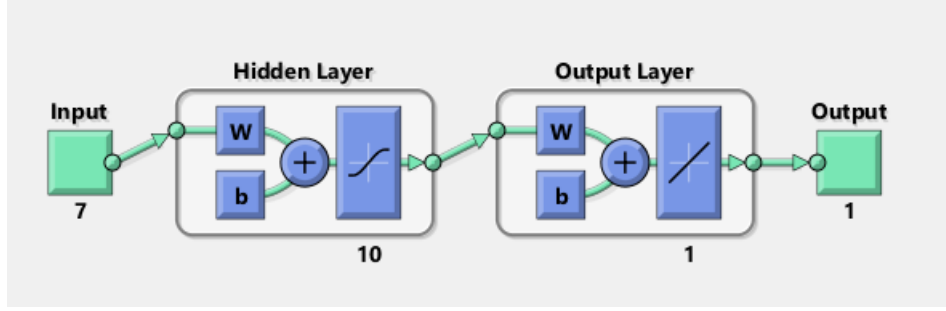
Çizelge 6.6 incelendiğinde hava durumu, rüzgâr yönü ve hava yolu kesit alanı verilerinin hava hızı tahminleme yeteneği İstasyon 1,2,3,4 için R değeri 0,6 ve altında çıkmıştır. MSE değeri ise 0'a yakındır; fakat R değerinin 0,6'dan düşük olması, modelin bağımlı değişkenin varyansını açıklamada sınırlı bir başarı gösterdiğini belirtebilir, bir önceki modele göre daha az başarılı olduğu söylenebilir. Bu nedenle bağımsız değişken arayışı devam etmektedir.

Matlab programının YSA modülüne hava durumu, ay, hava yolu kesit alanı ve mevsim verileri girilmiş, elde edilen sonuçlar Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. Hava durumu, ay, hava yolu kesit alanı ve mevsim ile hava hızı tahmini

İstasyon No	Öğrenme		Doğrulama		Test	
	R	MSE	R	MSE	R	MSE
İstasyon 1	0.9017	0.0138	0.8838	0.0154	0.8812	0.0168
İstasyon 2	0.7441	0.0092	0.7128	0.0117	0.7113	0.0111
İstasyon 3	0.7987	0.0087	0.7483	0.0110	0.7090	0.0120
İstasyon 4	0.8938	0.0131	0.8440	0.0183	0.8627	0.0125

Matlab'da hava durumu, ay, hava yolu kesit alanı ve mevsim veri seti ile gerçekleştirilen YSA analizinde R'nin 1'e daha yakın olduğu, İstasyon 1 ve 4 için yaklaşık 0,9 ve İstasyon 2 ve 3 için de 0,74-0,79 aralığında olduğu görüldüğünden bu veri seti ile yeniden gerçekleştirilen YSA analizi detaylandırılmıştır. Hava ölçüm istasyonları için yöntemin uygulanmasını gösteren YSA'nın genel görünümü Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Hava ölçüm istasyonları için YSA'nın şematik gösterimi

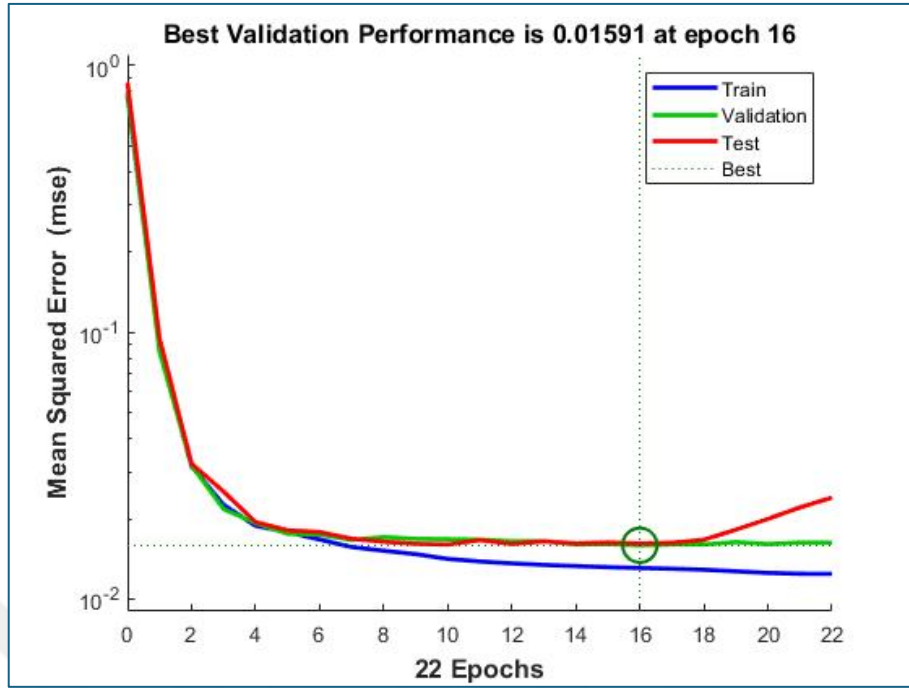
6.2.1. Matlab'da YSA ile istasyon 1 için ocak içi hava hızı tahmini

Matlab'a veri seti girilmiş ve İstasyon 1 için 7 veri grubundaki 1080 adet veriden 756 (%70) tanesi eğitim, 162 (%15) tanesi doğrulama için ve 162 (%15) tanesi de test için ayrılmıştır. Gizli katman sayısı 10 olarak seçilmiştir. İstasyon 1 için YSA performans bilgileri Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. İstasyon 1 için YSA performans bilgileri

Eğitim Algoritması		Levenberg-Marquardt
Aktivasyon Fonksiyonu		Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu
Performans Fonksiyonu		Ortalama karekök hata (MSE)
Nöron Sayısı		10
İterasyon		1000
Transfer Fonksiyonu		Tanjant Sigmoid Fonksiyonu
Veri Dağılımı	Eğitim	756
	Doğrulama	162
	Test	162

Çizelge 6.8'de verilen Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak da Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu kullanarak öğrenme süreci başlatılmıştır. İterasyon 1000 olarak ayarlanmıştır. Ancak eğitim, daha fazla iyileştirme yapılamadığı noktada, 6 doğrulama daha deneyerek 22 iterasyon neticesinde tamamlanmıştır. En iyi doğrulama performansının 16. iterasyonda sağlandığı Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

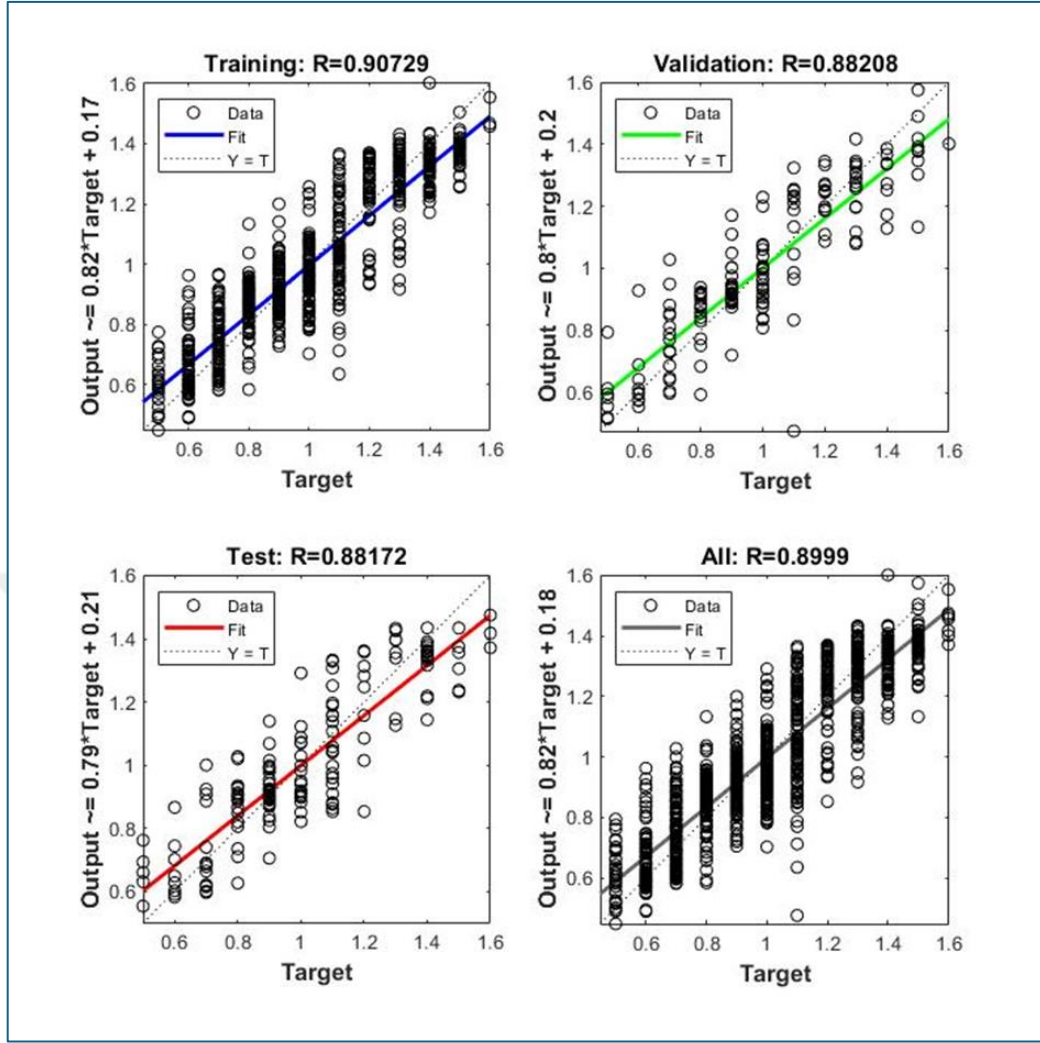


Şekil 6.4. İstasyon 1 için ağı performans grafiği

Doğrulama, eğitim ve test sürecinin 16. iterasyonda tamamlanmasından sonra Şekil 6.5'te verilen R ve MSE değerleri elde edilmiştir.

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	756	1.30743e-2	9.07287e-1
Validation:	162	1.59097e-2	8.82080e-1
Testing:	162	1.61515e-2	8.81718e-1

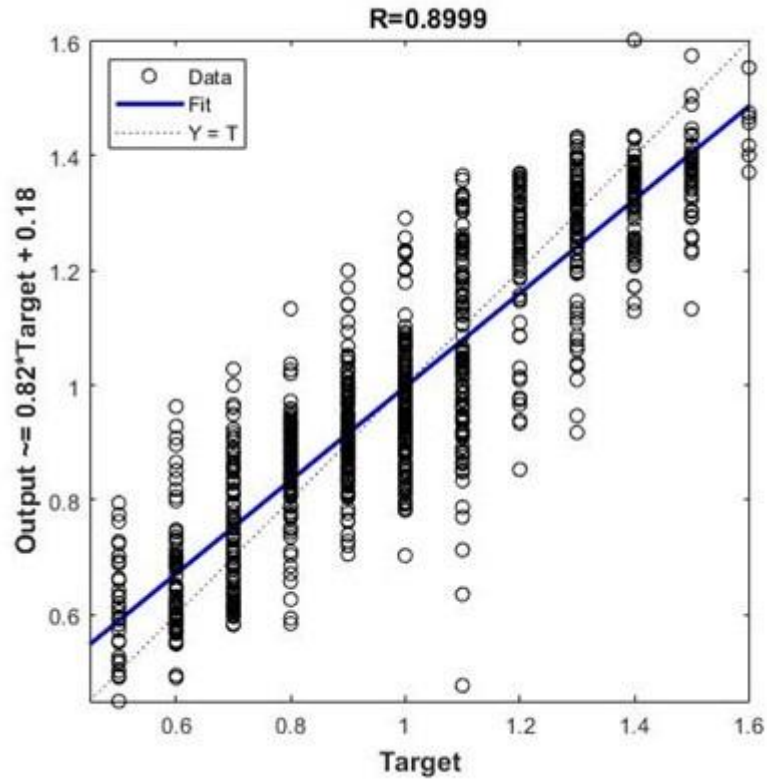
Şekil 6.5. İstasyon 1 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı



Şekil 6.6. İstasyon 1 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları

Grafiklerde dataların oluşturduğu tahmin eksenini noktasal doğru ile; eğitim, doğrulama ve test için sırasıyla mavi, yeşil ve kırmızı renkli doğrular ile gösterilmiştir. İki doğru arası mesafe kıaldıkça tahminin başarısı artmaktadır. Yine her bir R değerinin 1'e olan yakınlığı, başarılı bir tahmin olduğunu ifade eder (Şekil 6.6).

Karşılaştırma için eğitimin ardından verilerin tamamı kullanılarak analiz edilen R değeri 0,8998 ve MSE 0,0139 olarak bulunmuştur. Grafiksel gösterimi ise Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7. Tüm verilerin istasyon 1 için oluşturduğu regresyon diyagramı

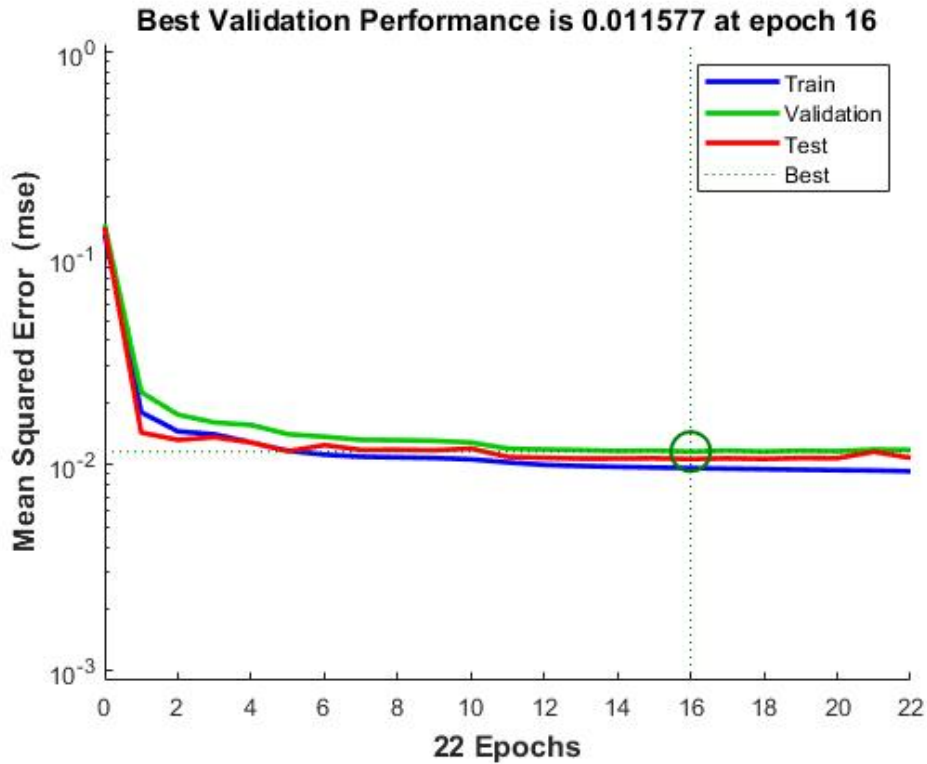
6.2.2. Matlab’da YSA ile istasyon 2 için ocak içi hava hızı tahmini

Matlab’a veri seti girilmiş ve hava istasyonu 2 için 7 veri grubundaki 1080’er veriden 756 (%70) tanesi eğitim, 162 (%15) tanesi doğrulama için ve 162 (%15) tanesi de test için ayrılmıştır. Gizli nöron sayısı 10 olarak seçilmiştir. İstasyon 2 için YSA performans bilgileri Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9. Hava istasyonu 2 İçin YSA performans bilgileri

Eğitim Algoritması		Levenberg-Marquardt
Aktivasyon Fonksiyonu		Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu
Performans Fonksiyonu		Ortalama karekök hata (MSE)
Nöron Sayısı		10
İterasyon		1000
Transfer Fonksiyonu		Tanjant Sigmoid Fonksiyonu
Veri Dağılımı	Eğitim	756
	Doğrulama	162
	Test	162

Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak da Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu kullanarak öğrenme süreci başlatılmıştır. İterasyon 1000 olarak ayarlanmıştır. Ancak eğitim, daha fazla iyileştirme yapamadığı noktada, 6 doğrulama daha deneyerek 22 iterasyon neticesinde tamamlanmıştır. En iyi doğrulama performansı 16. iterasyonda sağlandığı Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



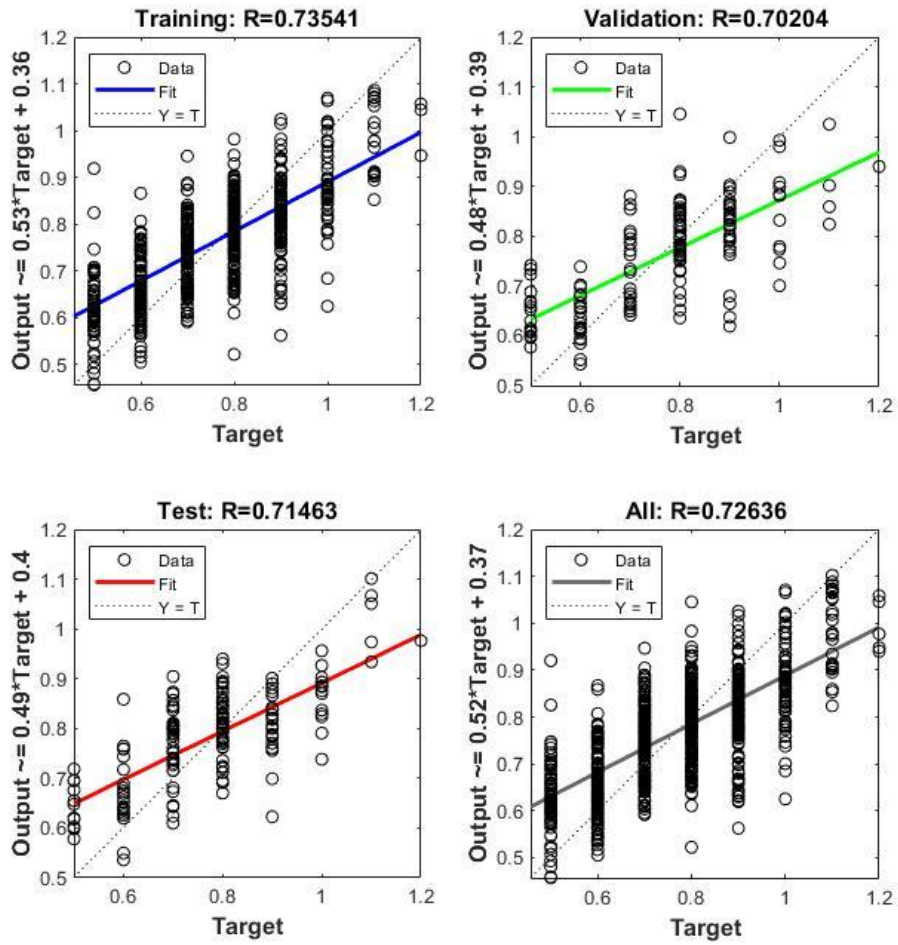
Şekil 6.8. İstasyon 2 için ağı performans grafiği

Doğrulama, eğitim ve test sürecinin 16. iterasyonda tamamlanmasından sonra Şekil 6.9'da verilen R ve MSE değerleri elde edilmiştir.

	Samples	MSE	R
Training:	756	9.63625e-3	7.35409e-1
Validation:	162	1.15772e-2	7.02035e-1
Testing:	162	1.06669e-2	7.14626e-1

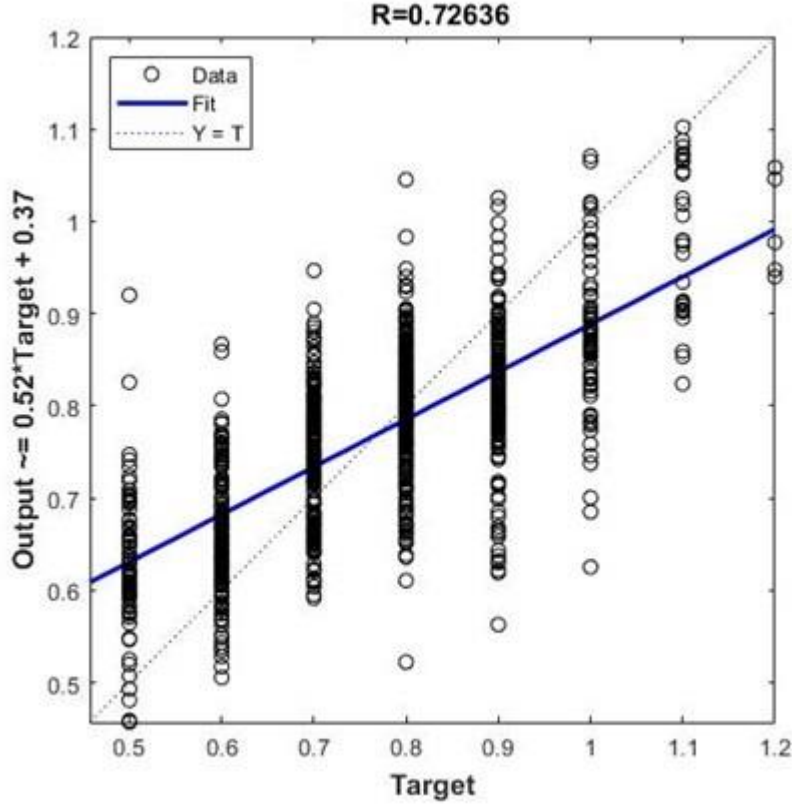
Şekil 6.9. İstasyon 2 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı

Eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10. İstasyon 2 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları

Karşılaştırma için eğitimin ardından verilerin tamamı kullanılarak analiz edilen R değeri 0,7264 ve MSE 0,0100 olarak bulunmuştur. Grafıksel gösterimi ise Şekil 6.11’de verilmiştir.



Şekil 6.11. Tüm verilerin istasyon 2 için oluşturduğu regresyon diyagramı

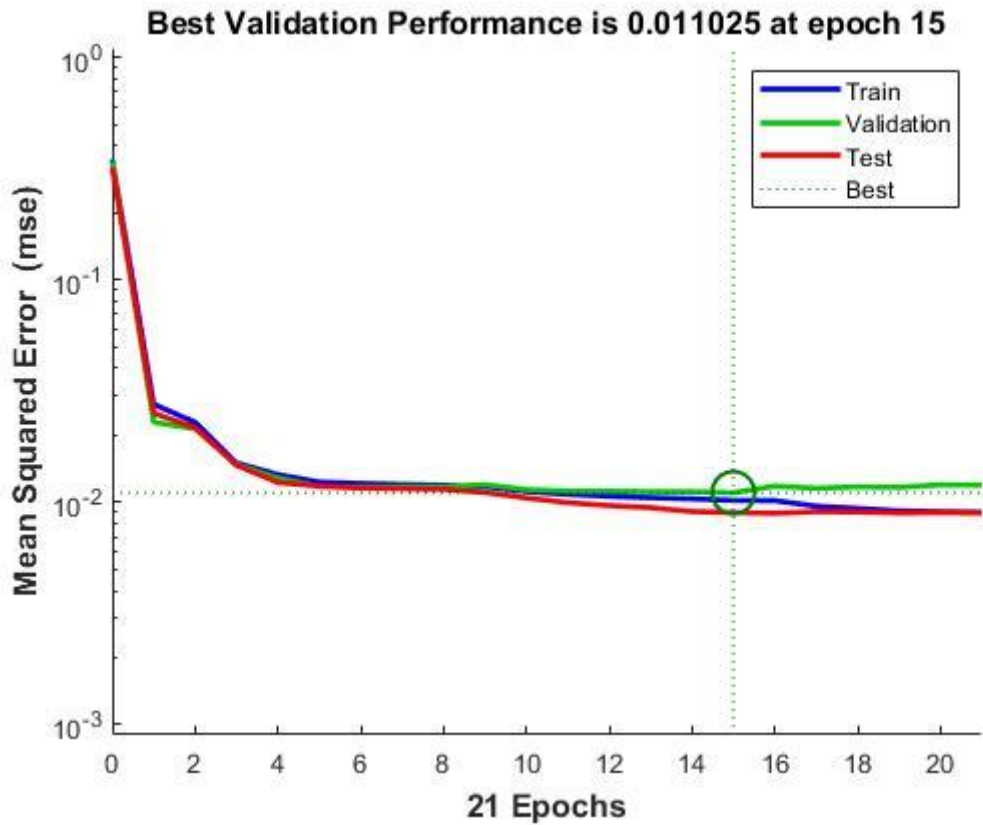
6.2.3. Matlab’da istasyon 3 için ocak içi hava hızı tahmini

Matlab’a veri seti girilmiş ve hava istasyonu 3 için 7 veri grubundaki 1080’er veriden 756 (%70) tanesi eğitim, 162 (%15) tanesi doğrulama için ve 162 (%15) tanesi de test için ayrılmıştır. Gizli nöron sayısı 10 olarak seçilmiştir. İstasyon 3 için YSA performans bilgileri Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Çizelge 6.10. Hava istasyonu 3 İçin YSA performans bilgileri

Eğitim Algoritması		Levenberg-Marquardt
Aktivasyon Fonksiyonu		Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu
Performans Fonksiyonu		Ortalama karekök hata (MSE)
Nöron Sayısı		10
İterasyon		1000
Transfer Fonksiyonu		Tanjant Sigmoid Fonksiyonu
Veri Dağılımı	Eğitim	756
	Doğrulama	162
	Test	162

Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak da Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu kullanarak öğrenme süreci başlatılmıştır. İterasyon 1000 olarak ayarlanmıştır. Ancak eğitim, daha fazla iyileştirme yapılamadığı noktada, 6 doğrulama daha deneyerek 21 iterasyon neticesinde tamamlanmıştır. En iyi doğrulama performansı 15. iterasyonda sağlandığı Şekil 6.12’de gösterilmiştir.



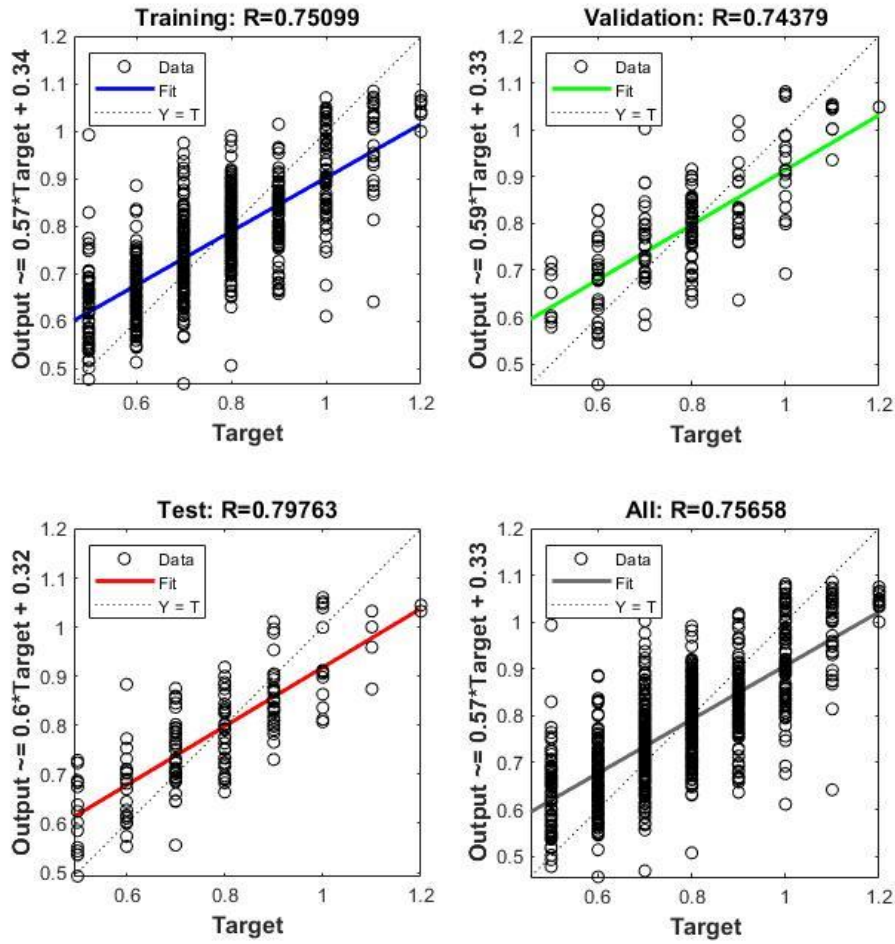
Şekil 6.12. İstasyon 3 için ağın performans grafiği

Doğrulama, eğitim ve test sürecinin 5. iterasyonda tamamlanmasından sonra Şekil 6.13’de verilen R ve MSE değerleri elde edilmiştir.

Results			
	Samples	MSE	R
Training:	756	1.01864e-2	7.50990e-1
Validation:	162	1.10252e-2	7.43790e-1
Testing:	162	8.98055e-3	7.97631e-1

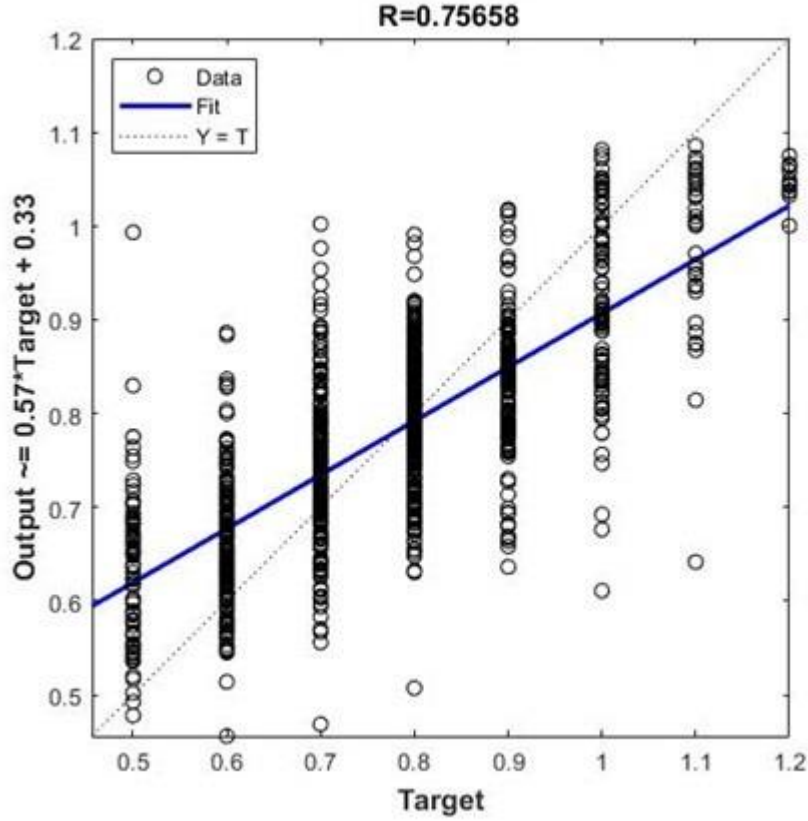
Şekil 6.13. İstasyon 3 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı

Eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları Şekil 6.14’de verilmiştir.



Şekil 6.14. İstasyon 3 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları

Karşılaştırma için eğitimin ardından verilerin tamamı kullanılarak analiz edilen R değeri 0,7566 ve MSE 0,0101 olarak bulunmuştur. Grafıksel gösterimi ise Şekil 6.15’de verilmiştir.



Şekil 6.15. Tüm verilerin istasyon 3 için oluşturduğu regresyon diyagramı

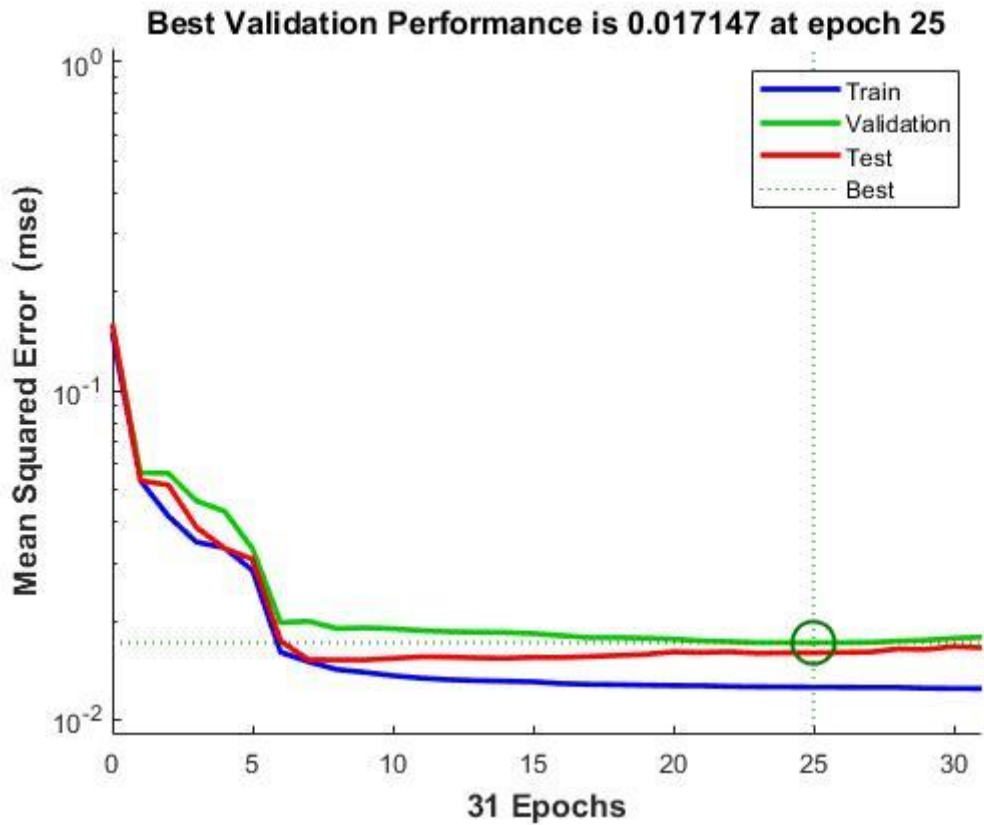
6.2.4. Matlab’ da YSA ile 4 nolu istasyon için ocak içi hava hızı tahmini

Matlab’a veri seti girilmiş ve hava istasyonu 4 için 7 veri grubundaki 1080’er veriden 756 (%70) tanesi eğitim, 162 (%15) tanesi doğrulama için ve 162 (%15) tanesi de test için ayrılmıştır. Gizli nöron sayısı 10 olarak seçilmiştir. İstasyon 4 için YSA performans bilgileri Çizelge 6.11’de verilmiştir.

Çizelge 6.11. Hava istasyonu 4 İçin YSA performans bilgileri

Eğitim Algoritması		Levenberg-Marquardt
Aktivasyon Fonksiyonu		Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu
Performans Fonksiyonu		Ortalama karekök hata (MSE)
Nöron Sayısı		10
İterasyon		1000
Transfer Fonksiyonu		Tanjant Sigmoid Fonksiyonu
Veri Dağılımı	Eğitim	756
	Doğrulama	162
	Test	162

Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ve aktivasyon fonksiyonu olarak da Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu kullanarak öğrenme süreci başlatılmıştır. İterasyon 1000 olarak ayarlanmıştır. Ancak eğitim, daha fazla iyileştirme yapamadığı noktada, 6 doğrulama daha deneyerek 31 iterasyon neticesinde tamamlanmıştır. En iyi doğrulama performansı 25. iterasyonda sağlandığı Şekil 6.16'da gösterilmiştir

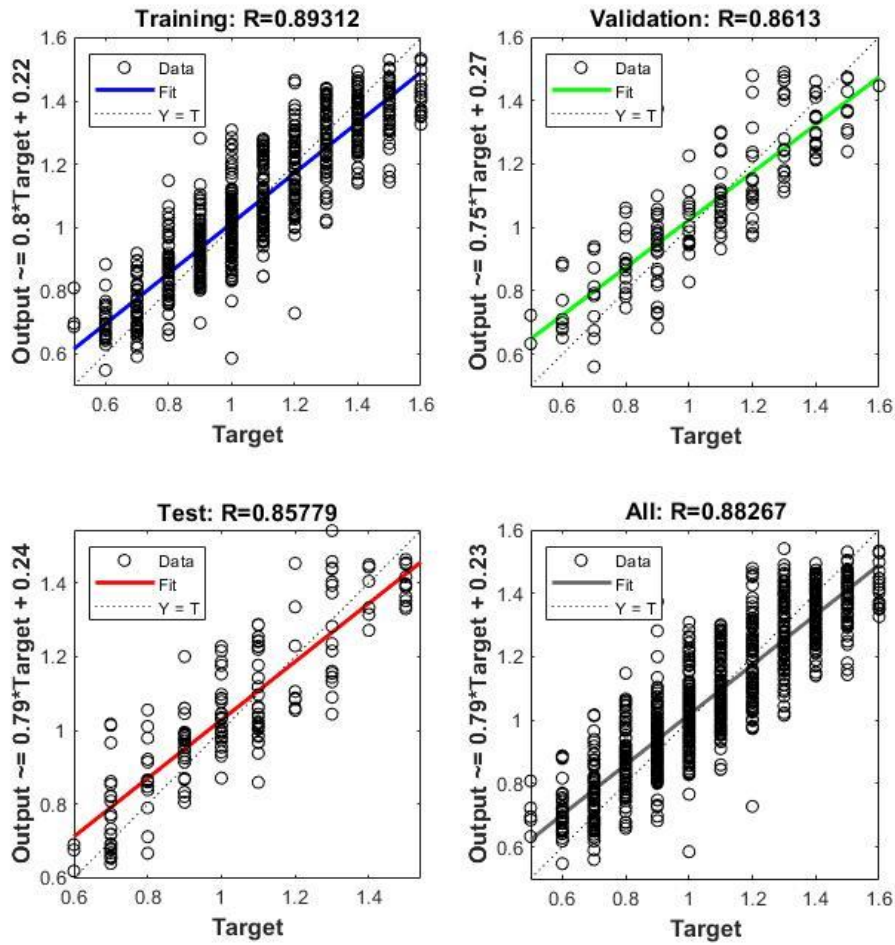


Şekil 6.16. İstasyonu 4 için ağı performans grafiği

Eğitim, doğrulama ve test sürecinin 25. iterasyonda tamamlanmasının ardından aşağıdaki R ve MSE değerleri elde edilmiştir.

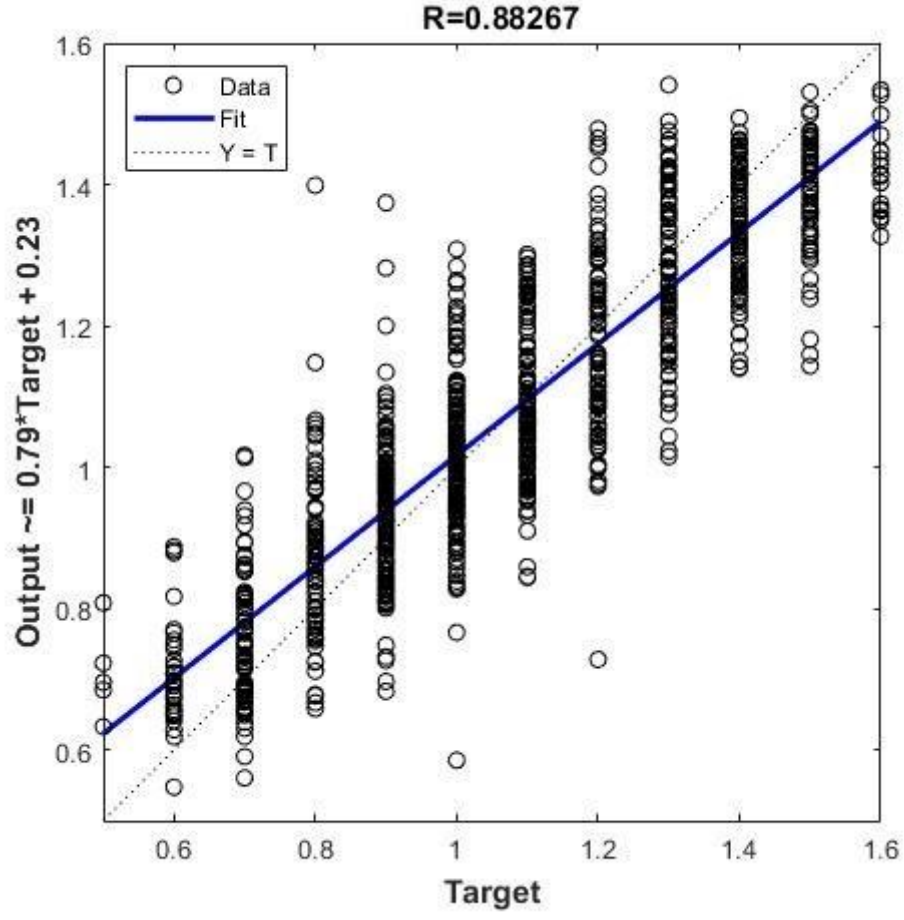
Results			
	Samples	MSE	R
Training:	756	1.25675e-2	8.93116e-1
Validation:	162	1.71471e-2	8.61296e-1
Testing:	162	1.59795e-2	8.57791e-1

Şekil 6.17. İstasyon 4 için YSA analizinde kullanılan veri sayıları ve model performansı



Şekil 6.18. İstasyon 4 için eğitim, doğrulama ve test regresyon diyagramları

Karşılaştırma için eğitimin ardından verilerin tamamı kullanılarak analiz edilen R değeri 0,8827 ve MSE 0,0138 olarak bulunmuştur. Grafiksel gösterimi ise Şekil 6.19'da verilmiştir.



Şekil 6.19. Tüm verilerin istasyon 4 için oluşturduğu regresyon diyagramı

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

YSA'ya göre birinci varsayım olan önem derecelerinin teorik bilgilere uygunluğunun kontrolü SPSS yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. SPSS programında meteorolojik verilerin ocak hava hızına etki etme önem dereceleri sunulmuş olup yüzdesel değerlere ulaşılmıştır.

Önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla; Çanakkale'de bulunan metalik maden havzasında devam eden madencilik faaliyetleri sırasında 2019-2022 yıllarına ait Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veriler ve ocak içinden alınan hava hızı ölçümleri veri seti olarak SPSS programına girilmiştir (Şekil 7.1).

	Sicaklik	Basinc	Ruzgar_Hizi	Nem	Aylar	Hava_Yolu_Kesit_Alanı	Mevsim	Hava_Istasyno_nu_1	Hava_Istasyno_nu_2	Hava_Istasyno_nu_3	Hava_Istasyno_nu_4
1	3.30	101.83	9.00	91.40	1.00	22.00	1.00	.80	.70	.60	1.30
2	2.90	101.24	5.30	100.00	1.00	22.00	1.00	.80	.70	.60	1.40
3	1.60	100.85	6.50	99.80	1.00	22.00	1.00	.90	.90	.50	1.40
4	.10	101.54	7.40	100.00	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.60	1.50
5	.10	101.39	7.70	100.00	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.60	1.50
6	-.80	101.04	3.80	96.30	1.00	22.00	1.00	1.10	1.10	1.00	1.60
7	-1.80	101.68	4.80	92.30	1.00	22.00	1.00	1.10	1.10	1.00	1.60
8	-3.80	102.05	5.20	91.30	1.00	22.00	1.00	1.00	.90	.90	1.50
9	-1.60	101.24	6.00	89.40	1.00	22.00	1.00	1.00	.90	.90	1.40
10	8.50	100.50	9.40	97.10	1.00	22.00	1.00	1.00	1.00	.90	1.50
11	9.00	101.08	5.80	97.50	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.40
12	4.60	101.17	7.10	100.00	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.40
13	1.30	100.97	5.50	99.90	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.40
14	2.90	100.31	2.50	94.40	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.40
15	2.70	100.22	6.40	91.00	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.50
16	.20	101.53	3.80	66.00	1.00	22.00	1.00	.90	.90	.80	1.60
17	3.80	101.89	2.40	87.90	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.50
18	6.60	101.75	4.90	86.40	1.00	22.00	1.00	.80	.70	.60	1.30
19	9.40	101.76	4.10	87.00	1.00	22.00	1.00	.80	.70	.60	1.30
20	9.10	101.67	3.40	93.50	1.00	22.00	1.00	.90	.90	.80	1.50
21	8.10	101.54	3.50	94.20	1.00	22.00	1.00	.90	.90	.80	1.50
22	5.70	101.58	4.10	96.70	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.50
23	9.40	100.66	5.90	96.00	1.00	22.00	1.00	.90	.90	.70	1.40
24	7.90	99.78	3.90	97.80	1.00	22.00	1.00	1.00	.90	.80	1.40
25	8.30	100.08	4.60	90.00	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.30
26	6.90	99.81	4.60	98.50	1.00	22.00	1.00	.90	.80	.80	1.30

Şekil 7.1. SPSS 'de YSA analizi yapılırken alınan ekran görüntüsü

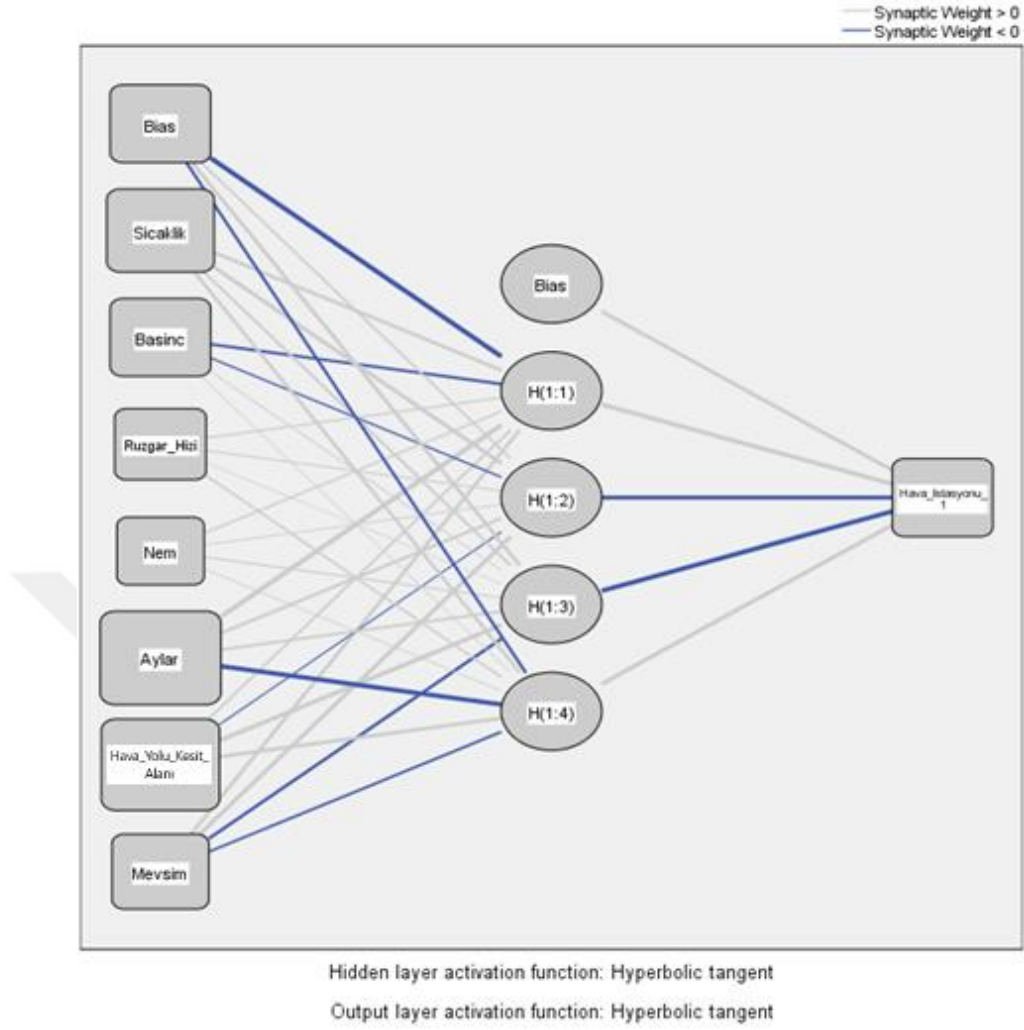
Çizelge 7.1. Hava istasyonu 1-2-3-4 için SPSS-YSA performans bilgileri

Eğitim Algoritması		Ölçeklenmiş Konjüge Gradyen
Aktivasyon Fonksiyonu		Tanjant Hiperbolik Fonksiyonu
Performans Fonksiyonu		Hata karekök toplamı (SSE)
Nöron Sayısı		4 (max. 50 seçilmiştir)
Transfer Fonksiyonu		Ölçeklendirme (Standardize edilmiş veriler)
Veri Dağılımı	Eğitim	760
	Test	320

Çizelge 7.1’de yer alan parametreler ile SPSS programında Analyze sekmesinin altında yer alan Neural Networks modülü seçilerek Multilayer Perceptron uygulaması seçilmiştir. Bağımlı değişken (Dependent Variable) olarak ayrı ayrı 4 Hava İstasyonu için ayrı ayrı analiz yapılarak SPSS programında YSA ile tahminler yapılmış olup tahminlere yönelik önem dereceleri tabloları çıktı olarak her bir hava istasyonu için ayrı ayrı alınmıştır.

7.1. SPSS’ de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyon 1 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Hava İstasyonu 1 için SPSS’e 1080 adet bağımlı değişken ve 1080’er adet 7 grupta bağımsız değişken girilmiş, bu verilerden 760 tanesi (%70,4) eğitim ve 320 tanesi (%29,6) test için ayrılmıştır. Ölçeklenmiş konjüge gradyen (scaled conjugate gradient) algoritması ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılarak YSA gerçekleştirilmiştir. SPSS’ de yapay sinir ağının şematik gösterimi Şekil 7.2’de verilmiştir.

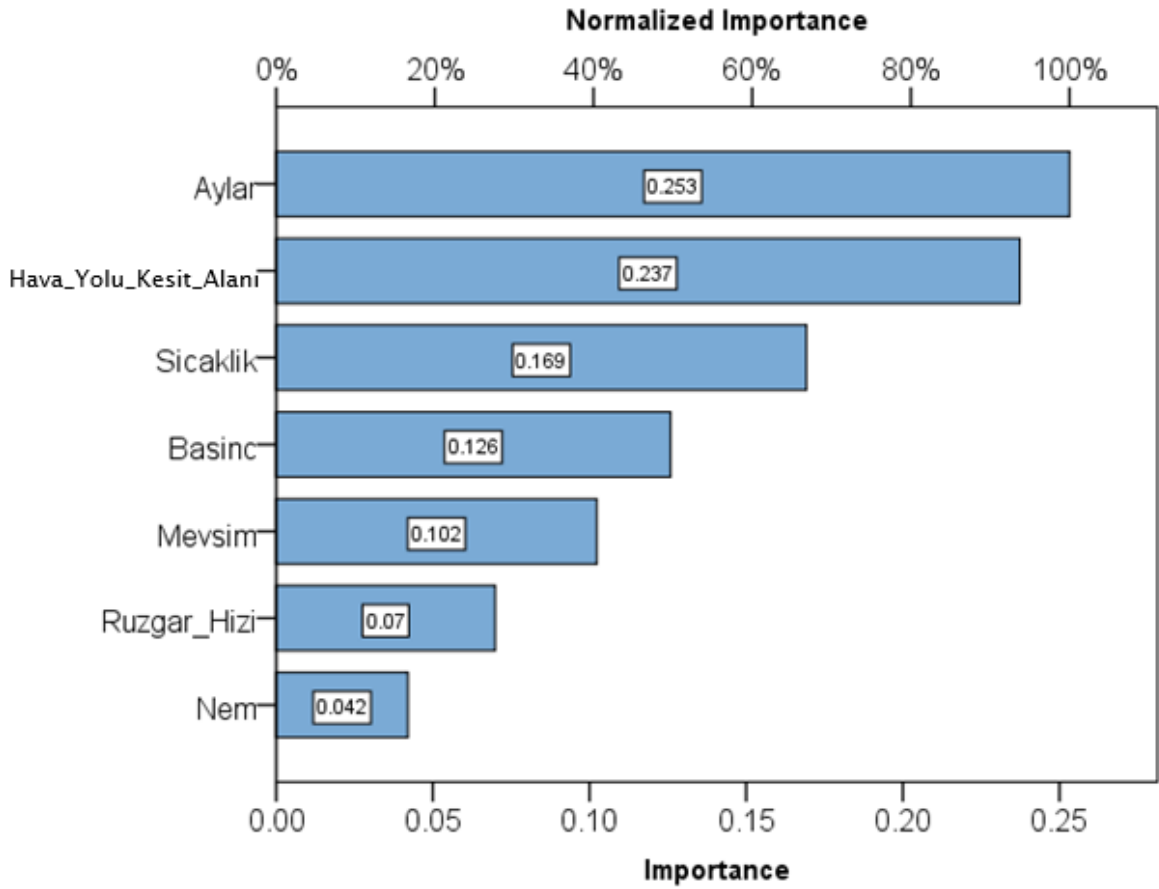


Şekil 7.2. İstasyon 1 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı

İstasyon 1 için SPSS programı ile hazırlanan, hava hızını belirlemede kullanılan parametrelerin önem dereceleri Çizelge 7.2’de verilmiştir. Çizelgenin grafiksel olarak gösterimi ise Şekil 7.3’deki görselde paylaşılmıştır.

Çizelge 7.2. İstasyonu 1 için hava hızı önem dereceleri

Hava İstasyonu 1 için Bağımsız Değişken Önem Derecesi		
Bağımsız Değişkenler	Önem Derecesi	Normalize Edilmiş Önem Derecesi
Sıcaklık	0,169	66,8%
Basınc	0,126	49,7%
Rüzgâr Hızı	0,070	27,6%
Nem	0,042	16,6%
Aylar	0,253	100,0%
Hava Yolu Kesit Alanı	0,237	93,7%
Mevsim	0,102	40,4%

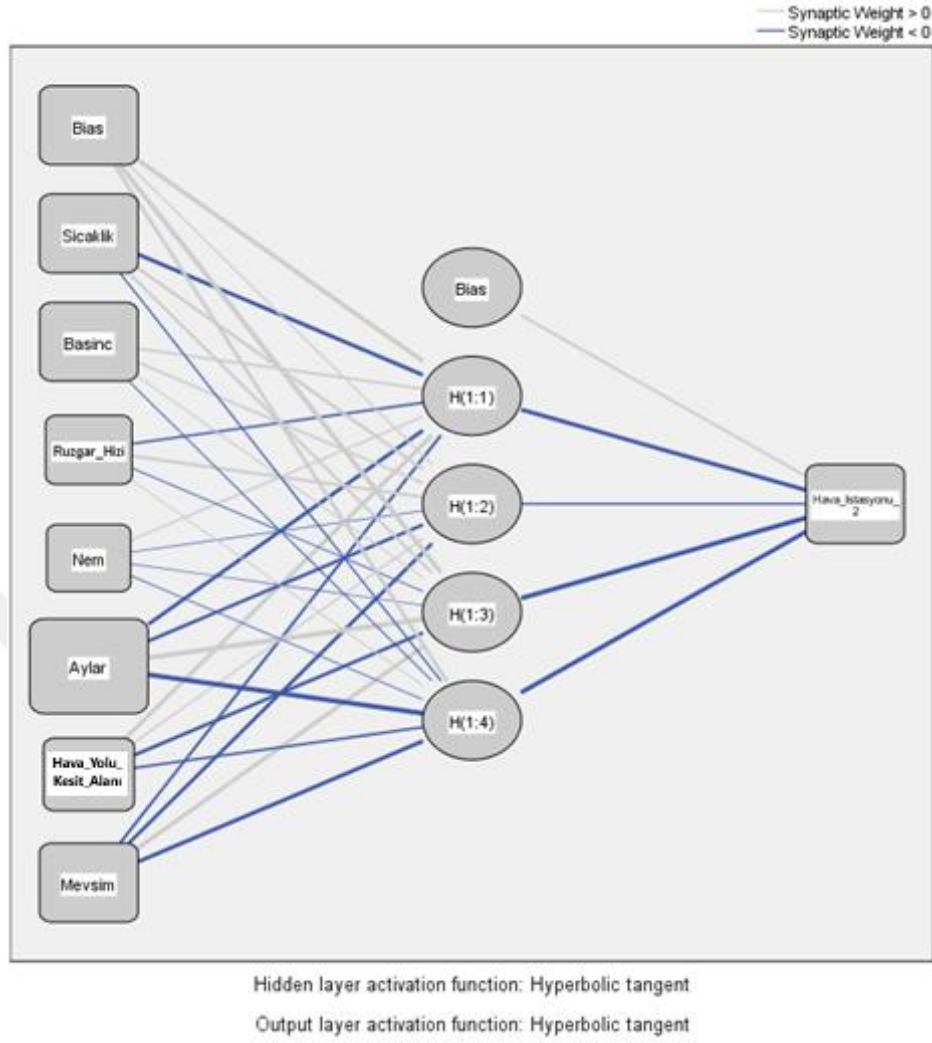


Şekil 7.3. İstasyon 1 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği

İstasyon 1 için doğal hava hızını etkileyen parametrelerin önem düzeyi incelendiğinde aylar parametresi ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla hava giriş kesiti, sıcaklık, basınç, mevsim, rüzgâr hızı, nem parametreleri izlemektedir.

7.2. SPSS’ de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyonu 2 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Hava istasyonu 2 için SPSS ’e 1080 adet bağımlı değişken ve 1080’er adet 7 grupta bağımsız değişken girilmiş, bu verilerden 746 tanesi (%69,1) eğitim ve 334 tanesi (%30,9) test için ayrılmıştır. Ölçeklenmiş konjüge gradyen algoritması ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılarak YSA gerçekleştirilmiştir. SPSS’ de yapay sinir ağının şematik gösterimi Şekil 7.4’de verilmiştir.

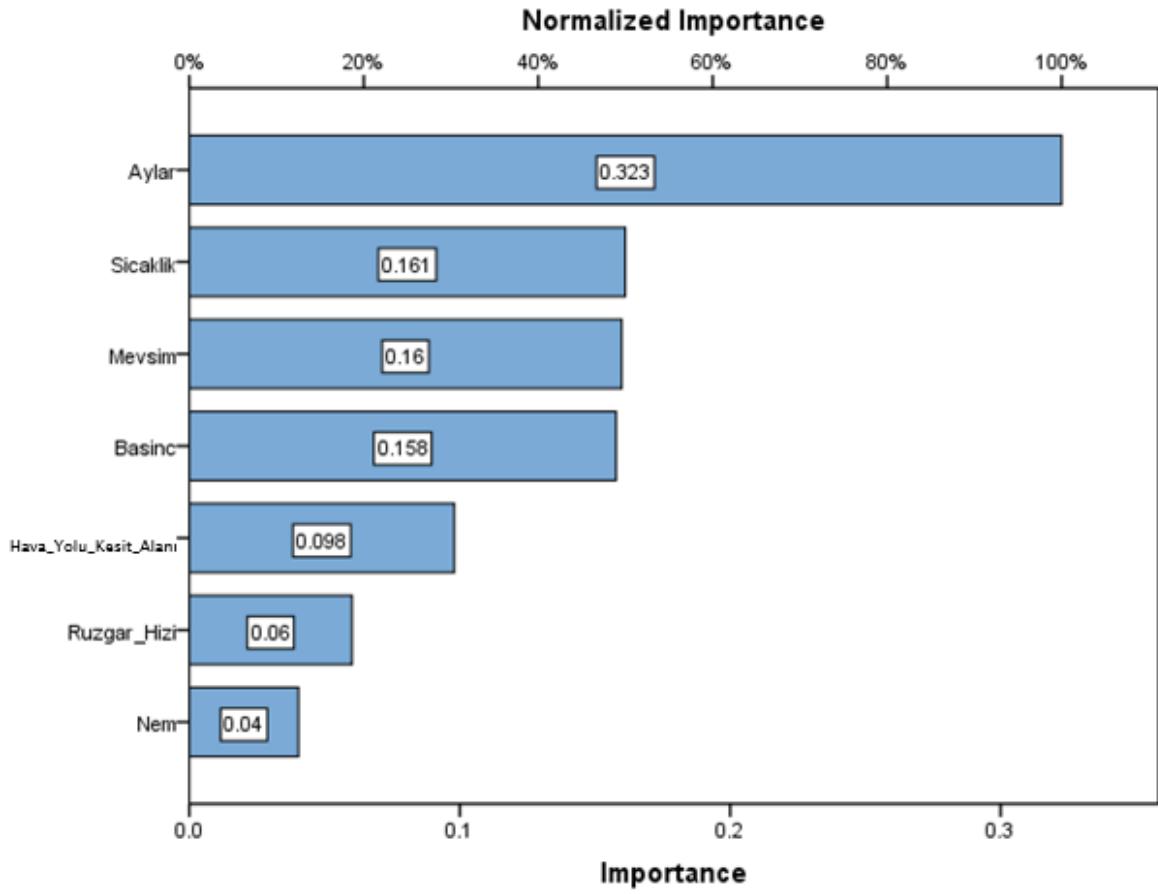


Şekil 7.4. İstasyon 2 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı

İstasyon 2 için SPSS programı ile hazırlanan, hava hızını belirlemede kullanılan parametrelerin önem dereceleri Çizelge 7.3'te verilmiştir. Çizelgenin grafiksel olarak gösterimi ise Şekil 7.5'deki görselde paylaşılmıştır.

Çizelge 7.3. İstasyonu 2 için hava hızı önem dereceleri

Hava İstasyonu 2 için Bağımsız Değişken Önem Derecesi		
Bağımsız Değişkenler	Önem Derecesi	Normalize Edilmiş Önem Derecesi
Sıcaklık	0,161	50,0%
Basınc	0,158	48,9%
Rüzgâr Hızı	0,060	18,6%
Nem	0,040	12,5%
Aylar	0,323	100,0%
Hava Yolu Kesit Alanı	0,098	30,4%
Mevsim	0,160	49,6%

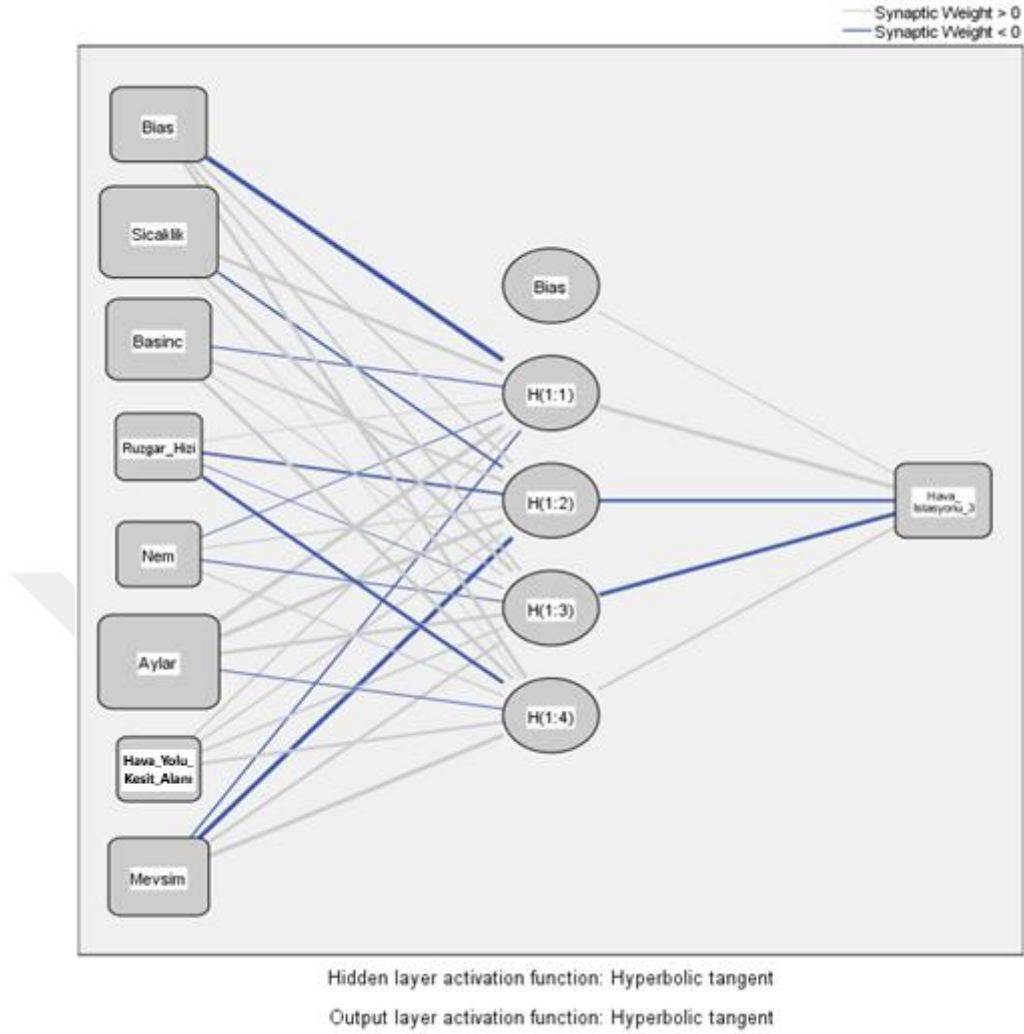


Şekil 7.5. İstasyon 2 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği

İstasyon 2 için doğal hava hızını etkileyen parametrelerin önem düzeyi incelendiğinde aylar parametresi ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla sıcaklık, mevsim, basınç, hava giriş kesiti, rüzgâr hızı, nem parametreleri izlemektedir.

7.3. SPSS' de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyon 3 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Hava istasyonu 3 için SPSS'e 1080 adet bağımlı değişken ve 1080'er adet 7 grupta bağımsız değişken girilmiş, bu verilerden 754 tanesi (%69,8) eğitim ve 326 tanesi (%30,2) test için ayrılmıştır. Ölçeklenmiş konjüge gradyen algoritması ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılarak YSA gerçekleştirilmiştir. SPSS'de yapay sinir ağının şematik gösterimi Şekil 7.6'da verilmiştir.

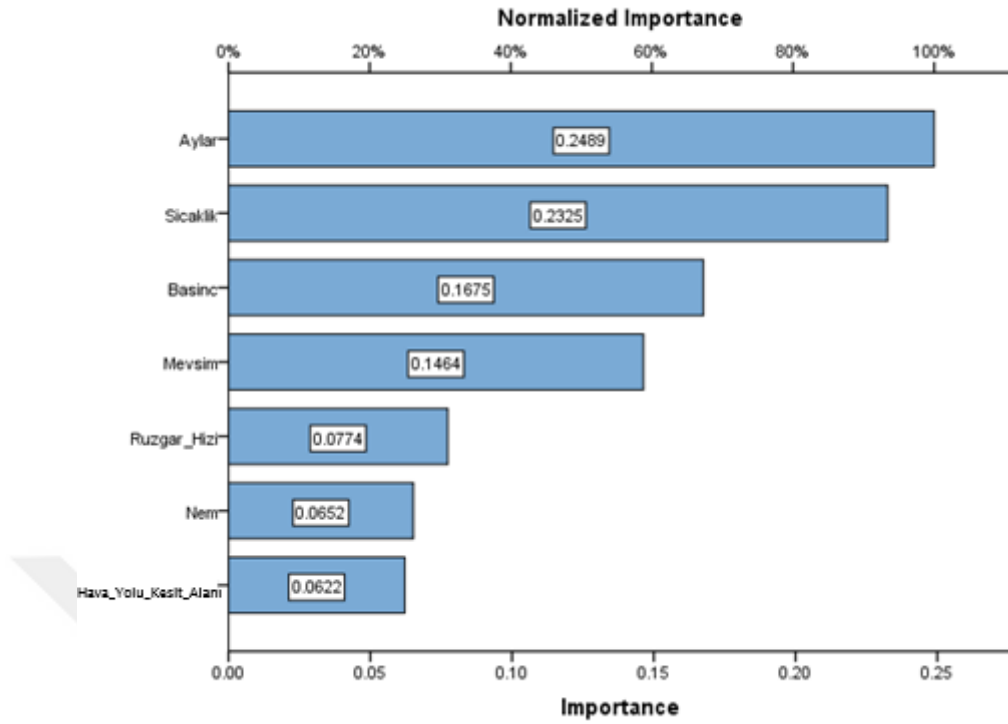


Şekil 7.6. İstasyon 3 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı

İstasyon 3 için SPSS programı ile hazırlanan, hava hızını belirlemede kullanılan parametrelerin önem dereceleri Çizelge 7.4'te verilmiştir. Çizelgenin grafiksel olarak gösterimi ise Şekil 7.7'deki görselde paylaşılmıştır

Çizelge 7.4. İstasyon 3 için hava hızı önem dereceleri

Hava İstasyonu 3 için Bağımsız Değişken Önem Derecesi		
Bağımsız Değişkenler	Önem Derecesi	Normalize Edilmiş Önem Derecesi
Sıcaklık	0,233	93,4%
Basınc	0,168	67,3%
Rüzgâr Hızı	0,077	31,1%
Nem	0,065	26,2%
Aylar	0,249	100,0%
Hava Yolu Kesit Alanı	0,062	25,0%
Mevsim	0,146	58,8%

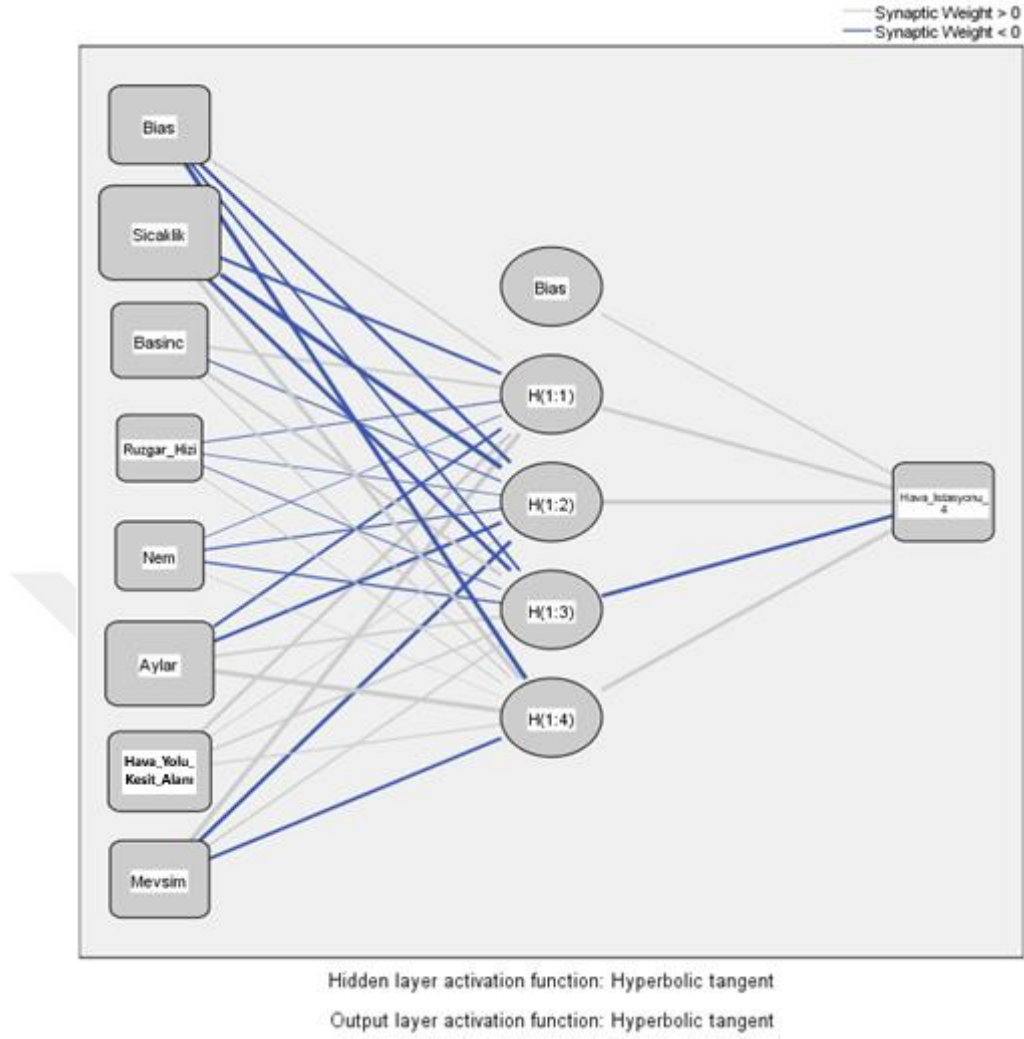


Şekil 7.7. İstasyon 3 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği

İstasyon 3 için doğal hava hızını etkileyen parametrelerin önem düzeyi incelendiğinde aylar parametresi ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla sıcaklık, basınç, mevsim, rüzgâr hızı, nem, hava giriş kesiti parametreleri izlemektedir.

7.4. SPSS’ de YSA ile Ocak İçi Hava Hızına Etki Eden Parametrelerin İstasyon 4 İçin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Hava istasyonu 4 için SPSS’e 1080 adet bağımlı değişken ve 1080’er adet 7 grupta bağımsız değişken girilmiş, bu verilerden 761 tanesi (%70,5) eğitim ve 319 tanesi (%29,5) test için ayrılmıştır. Ölçeklenmiş konjüge gradyen algoritması ve hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanılarak YSA gerçekleştirilmiştir. SPSS’de yapay sinir ağının şematik gösterimi Şekil 7.8’de verilmiştir.

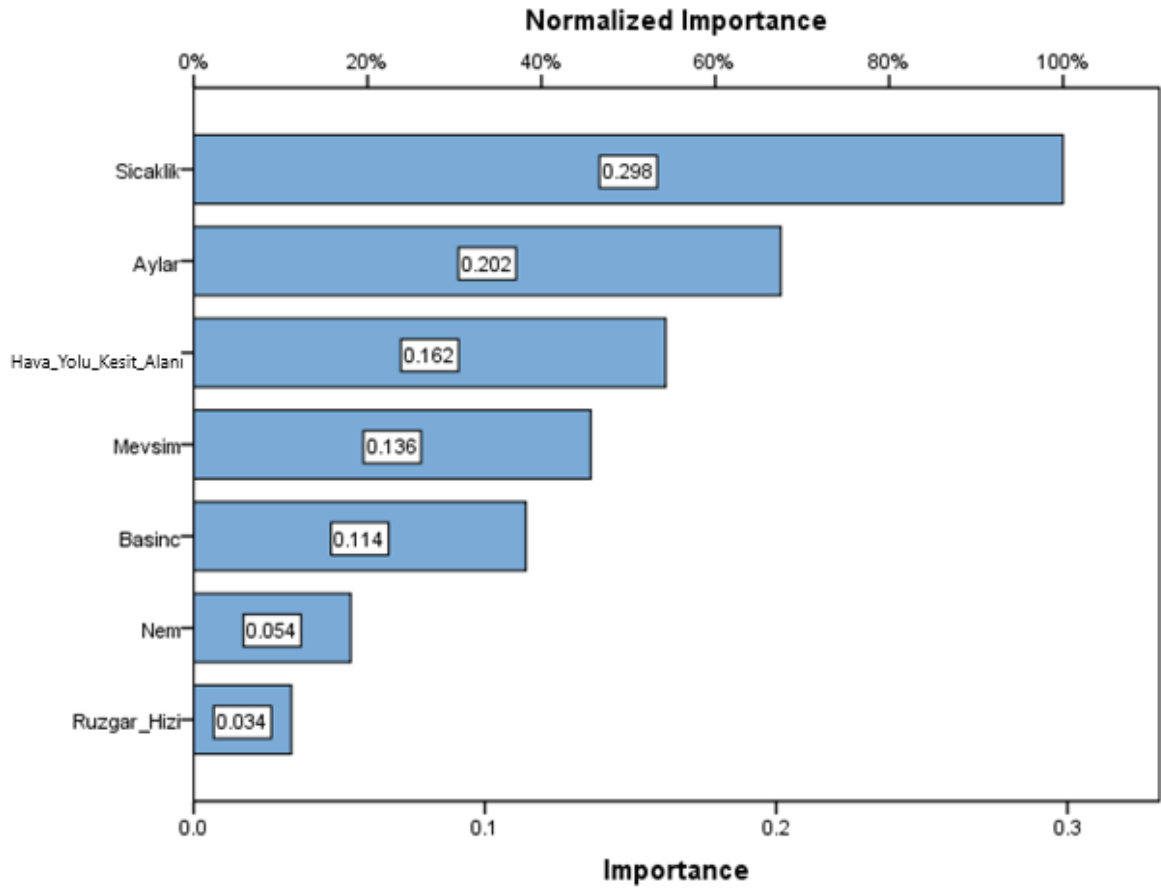


Şekil 7.8. İstasyon 4 için ocak içi hava hızı kriterleri sinir ağı yapısı

İstasyon 4 için SPSS programı ile hazırlanan, hava hızını belirlemede kullanılan parametrelerin önem dereceleri Çizelge 7.5'te verilmiştir. Çizelgenin grafiksel olarak gösterimi ise Şekil 7.9'daki görselde paylaşılmıştır.

Çizelge 7.5. Hava istasyonu 4 için hava hızı önem dereceleri

Hava İstasyonu 4 için Bağımsız Değişken Önem Derecesi		
Bağımsız Değişkenler	Önem Derecesi	Normalize Edilmiş Önem Derecesi
Sıcaklık	0,298	100,0%
Basınc	0,114	38,2%
Rüzgâr Hızı	0,034	11,2%
Nem	0,054	18,1%
Aylar	0,202	67,5%
Hava Yolu Kesit Alanı	0,162	54,3%
Mevsim	0,136	45,7%



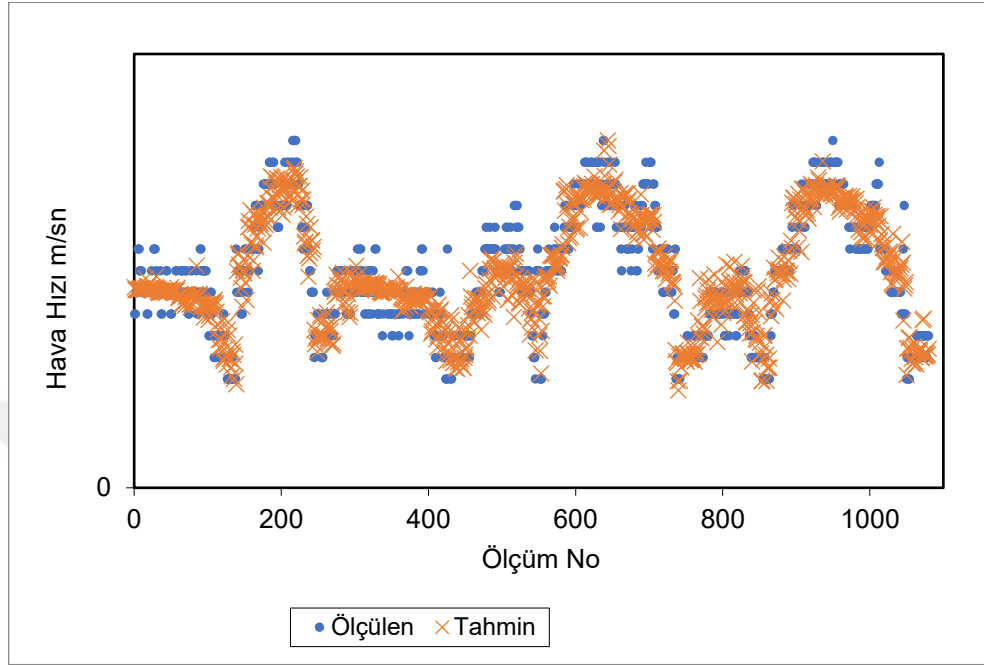
Şekil 7.9. İstasyon 4 için ocak içi hava hızı önem dereceleri grafiği

İstasyon 4 için doğal hava hızını etkileyen parametrelerin önem düzeyi incelendiğinde sıcaklık parametresi ilk sırada yer almaktadır. Bunu sırasıyla aylar, hava giriş kesiti, mevsim, basınç, nem, rüzgâr hızı parametreleri izlemektedir.

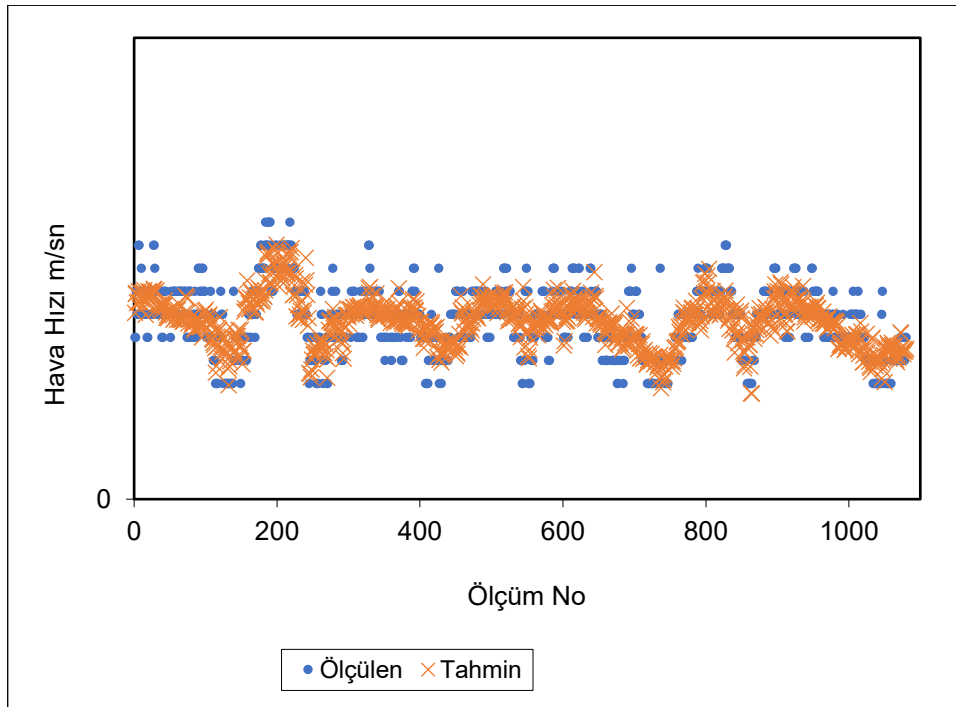
7.5. Tahmin Edilen ve Ölçülen Veriler Arasındaki Uyum

Tahmin edilen veri ile ölçülen veri arasında uyum olduğu görüldüğünde, tahminlerin doğru olduğunu anlaşılmaktadır. Excel’de yapılan bir kıyas tablosuyla 1080 verinin Matlab’da yaptığı tahmin verileri ve ölçülen veriler kıyaslanmıştır. Bu kıyas sonucunda modelin doğruluğu grafiklerle yansıtılmıştır. Şekil 7.10’da İstasyon 1, Şekil 7.11’de İstasyon 2, Şekil 7.12’de İstasyon 3 ve Şekil 7.13’te İstasyon 4 için ölçülen ve tahmin edilen veriler kıyaslandığında uyumun başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 7.10, Şekil 7.11, Şekil 7.12 ve Şekil 7.13’te yer alan grafiklere bakıldığında birkaç veri haricinde tahmin-ölçüm

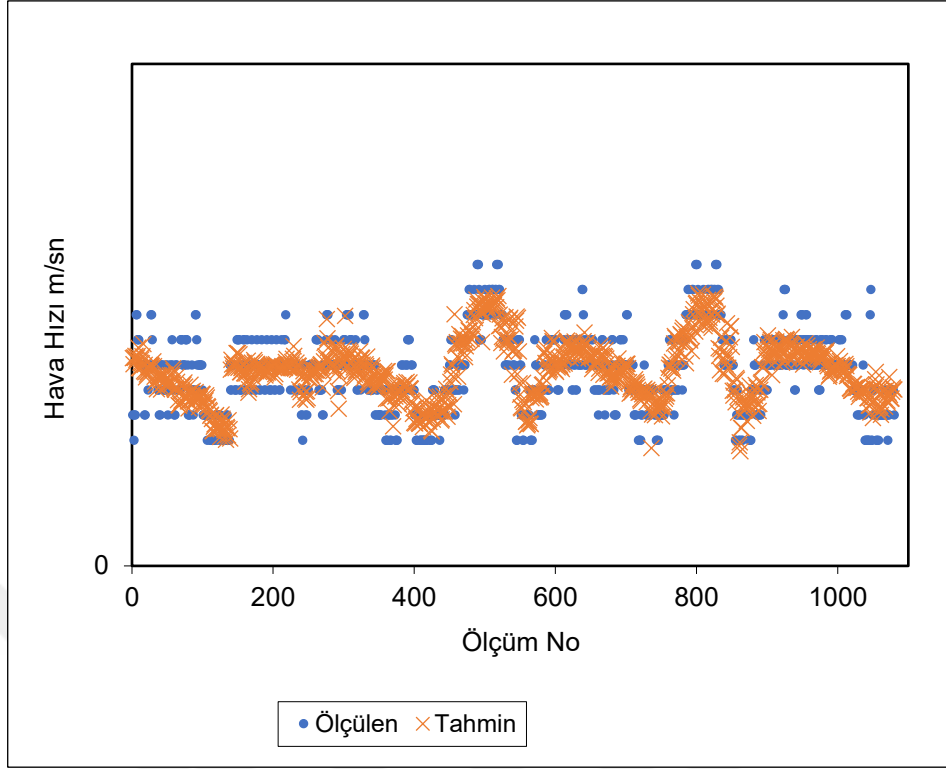
değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Bu durum oluşturulan yapay sinir ağı'nın başarılı bir performans sergilediğini göstermektedir.



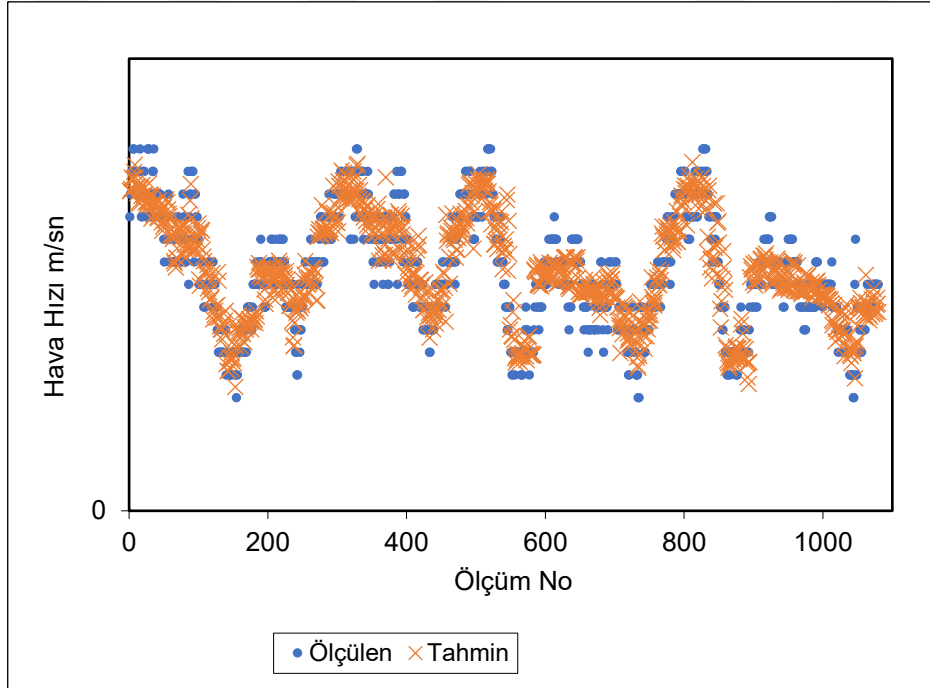
Şekil 7.10. İstasyon 1 için uyum grafiği



Şekil 7.11. İstasyon 2 için uyum grafiği



Şekil 7.12. İstasyon 3 için uyum grafiği



Şekil 7.13. İstasyon 4 için uyum grafiği

7.6. Matlab-SPSS Analizi Sonucunda Yapılan Uyum İyiliği Tablosu ve Etki Eden Parametrelerin İstasyonlara Göre Önem Düzeyleri Grafiği

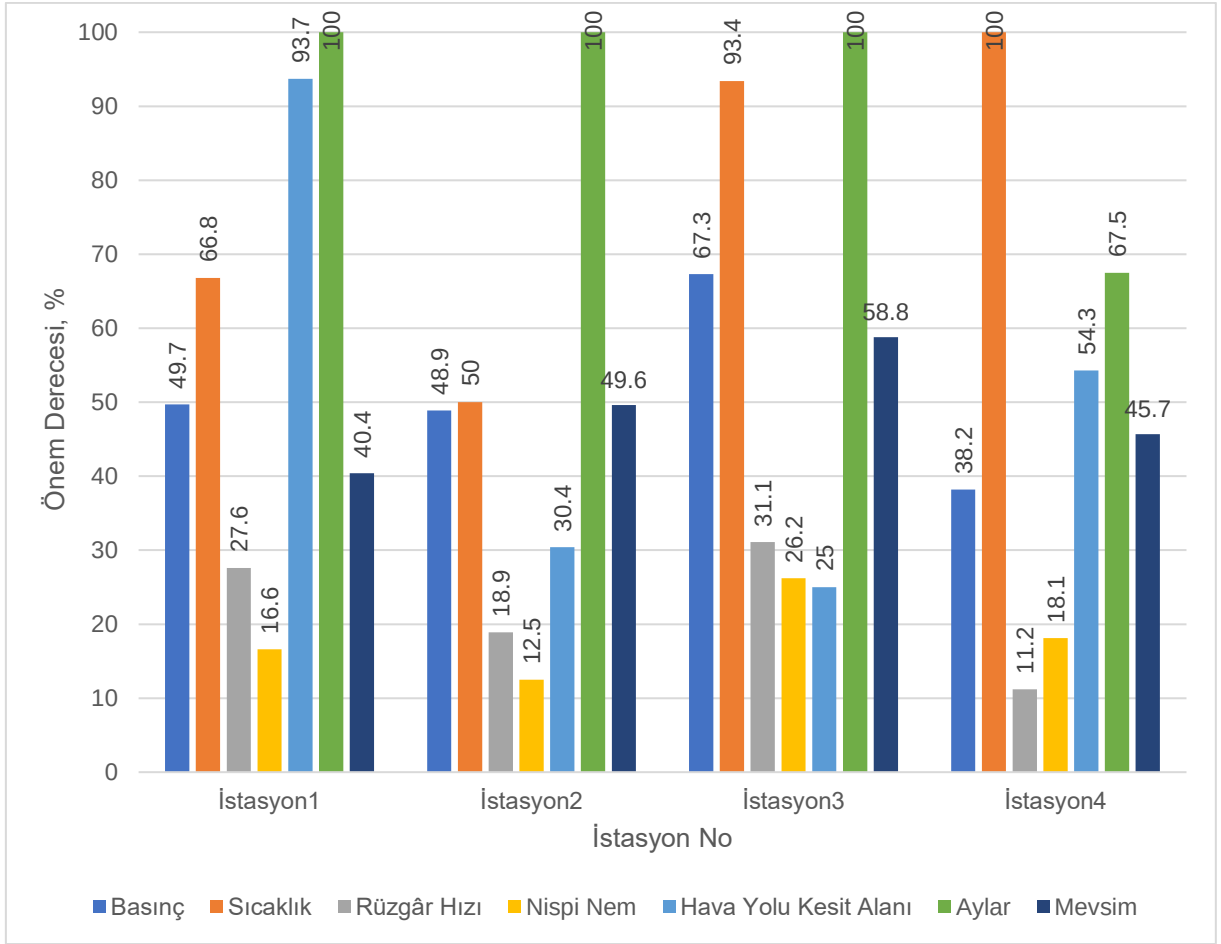
Uyum iyiliği tablosu, modelin performansını anlamak için önemli bir araçtır. R'nin 1'e yakın olması modelin açıklama gücünün yüksek olduğunu gösterir. MSE ve RMSE tahminlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunu ve modelin genel başarısını gösterir. 0 değerine yakın olması beklenir.

4 farklı istasyon noktasındaki hava hızına etki eden parametrelerin önem düzeyleri toplu olarak Çizelge 7.6'da ve doğal hava akımına etki eden parametrelerin istasyonlara göre önem düzeyleri Şekil 7.14'de verilmiştir.

Çizelge 7.6. Tüm istasyonlar için uyum iyiliği tablosu

ÖNEM DERECESESİ (%)	Değişken	İstasyon 1	İstasyon 2	İstasyon 3	İstasyon 4
	Basınç	49,70 [4]	48,90 [4]	67,30 [3]	38,20 [5]
	Sıcaklık	66,80 [3]	50,00 [2]	93,40 [2]	100,00 [1]
	Rüzgâr Hızı	27,60 [6]	18,90 [6]	31,10 [5]	11,20 [7]
	Nispi Nem	16,60 [7]	12,50 [7]	26,20 [6]	18,10 [6]
	Hava Yolu Kesit Alanı	93,70 [2]	30,40 [5]	25,00 [7]	54,30 [3]
	Aylar	100,00 [1]	100,00 [1]	100,00 [1]	67,50 [2]
	Mevsim	40,40 [5]	49,60 [3]	58,80 [4]	45,70 [4]
R		0,8999	0,7264	0,7566	0,8827
MSE		0,0139	0,0100	0,0101	0,0138
RMSE		0,1179	0,1000	0,1005	0,1175

*Önem derecelerinin istasyonlara göre sıralaması, [] içinde verilmiştir.



Şekil 7.14. Doğal hava akımına etki eden parametrelerin istasyonlara göre önem düzeyleri

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeraltı maden ocaklarında doğal havalandırma; hava giriş ve çıkış noktaları arasındaki kot farkı, sıcaklık ve yoğunluk farkı, hâkim rüzgâr yönü ve hızı gibi faktörlerin etkisinde mevsimlere ve hatta aylara göre değişkenlik göstermektedir. Doğal havalandırma basıncı sıcaklık ve yoğunluk farkına göre hesaplanabilmektedir.

Çalışma kapsamında Çanakkale’de faaliyet gösteren ve doğal yolla havalandırılan bir yeraltı metal madeninde 2019-2022 yılları arasında 4 farklı istasyon noktasından 1080’er adet hava hızı ölçümleri alınmıştır. Alınan bu ölçümler ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişki hava yolu kesit alanı, aylar ve mevsimler gibi değişkenler de göz önüne alınarak yapay sinir ağları ile detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda açıklanmıştır.

- Yeraltı madenlerinde doğal hava akışını etkileyen parametreler başlangıçta Sıcaklık (S), Basınç (B), Rüzgâr Hızı (RH) ve Nispi nem (N) olarak alınmış ve bu veri setine “Hava Durumu” adı verilmiştir. Bu değişkenlere ilave olarak ay, mevsim, hava yolu kesit alanı ve rüzgâr yönü gibi parametreler de eklenerek farklı kombinasyonların hava akış hızı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hava durumu ve ay; hava durumu, ay ve hava yolu kesit alanı; hava durumu ve hava yolu kesit alanı; hava durumu, rüzgâr yönü ve hava yolu kesit alanı; hava durumu, ay, hava yolu kesit alanı ve mevsim girdileri birlikteliklerinin hava hızlarını tahminlemedeki anlamlılık düzeyleri Matlab’da YSA modülünde incelenmiştir.

- Matlab’da YSA modülünde yapılan değerlendirmelere göre; ocak içindeki dört istasyon noktasındaki hava hızını tahmin etmedeki en iyi kombinasyonun hava durumu, ay, mevsim ve hava yolu kesit alanı parametrelerinden oluştuğu bulunmuştur.

- Tüm hava istasyonlarında yer alan ölçümler için geçerli olarak her yıl aynı aylara denk gelen zamanlarda benzer hava durumu koşulları olması nedeniyle bir döngü ile yinelandığından aylara göre Matlab’da gerçekleştirilen YSA analizlerinde YSA’nın daha iyi öğrenme sağladığı tespit edilmiştir.

- Mevsim geçişlerinde yani sıcak havadan soğuk veya soğuk havadan sıcak havaya geçildiğinde ocak içi hava yönü değiştirdiğinden mevsim de girdi verisi olarak kullanılmış ve bu şekilde Matlab’da yapılan YSA analizlerden elde edilen sonuçların daha anlamlı tahmin edildiğı anlaşılmıştır.

- Hava istasyonu 1 ve 4’te tahminleme oranlarının yüksek çıkması, bu istasyonların giriş ve çıkış galerinde yakın konumda olduğundan Meteoroloji Genel Müdürlüğünden gelen verilerde yer alan ölçüm zamanlarındaki hava sıcaklığından ve yoğunluğundan doğrudan etkilendiğı sonucuna ulaşılmıştır.

- Hava istasyonu 1 ve 4’te hava yolu giriş kesiti değişkenlik gösterdiğinden girişte ve çıkıştaki hava hızlarının doğrudan hava yolu kesiti ile ilişkili olduğu yorumlanabilir.

- Hava istasyonu 2 ve 3’te tahminleme oranlarının diğeri istasyonlara göre düşük çıkması, bu istasyonların giriş ve çıkış galerine yakın konumda olmadığından dış atmosferik koşullardan fazla etkilenmediğı sonucuna ulaşılmıştır.

- MSE ve RMSE terimleri ile ifade edilen ve hata karelerini formüle eden istatistiksel uyum analizi parametrelerinin sıfıra yakın olması beklenmektedir. Ölçülen ve tahmin edilen verilerle yapılan hesaplamalarda tüm istasyonlar için sıfıra yakın değerler elde edilmiştir.

- SPSS’te YSA modülünde yapılan önem derecesi analizi sonucunda İstasyon 1 için en önemli girdi verisinin sırasıyla; aylar, hava yolu giriş kesiti, sıcaklık, basınç, mevsim, rüzgâr hızı ve nispi nem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ay verisi ilk 3 istasyon için % 100 önem derecesine sahiptir. İlk hava istasyonu için, hava yolu giriş kesiti ve sıcaklık verisinin en etkili olması doğrudan atmosferik koşullar ve havanın ilk hareket alanı olması nedeniyle beklenen bir sonuçtur.

- İstasyon 2 için sıcaklık, mevsim ve basınç girdilerinin birbirlerine çok yakın önem derecelerine sahip olması bu istasyonun atmosferik koşullardan doğrudan etkilenmemesi ve en düşük kotta bulunan istasyonda olması nedeniyle gerçekleşmiştir.

- İstasyon 4 içinse çıkış istasyonu olması sebebiyle sıcaklık verisinin en önemli girdi parametresi olduğu görülmüştür. Ayrıca hava yolu kesit alanının değişmesi ile bu

istasyonda hava hızının belirlenmesinde en önemli girdi parametrelerinden biri haline gelmiştir.

- Ülkemizde en fazla faaliyet alanı gösteren yeraltı maden cinsinin metal madenciliği olduğu ve ekonomik ömrü en fazla olan yeraltı madenciliğinin metal madenleri üzerine olduğu MAPEG’den elde edilen bilgilerle 2023 yılında tekrar güncellenmiştir. Bu durum çalışmanın ülkemizde madencilik faaliyetlerinde kullanılabilirliğini vurgulamaktadır.

- Türkiye’de en fazla kullanılan havalandırma yönteminin doğal ve mekanik havalandırmanın bir arada kullanıldığı yöntemle gerçekleştiği yine MAPEG verilerince ortaya konulmuştur. Bu durumda bir ocağın yalnızca doğal havalandırma gücüyle ne kadar havalandırma sağladığını tahmin edebilmek birçok işletme açısından önem arz etmektedir.

- Doğal havalandırma hızının tahmin edilmesi sonucunda mekanik havalandırma desteğinin sağlanması gereken koşullar öngörülebilir. Bu şekilde ocak içi hava hızının yasal mevzuatın altına düşmemesi için de önlem alınabilir.

- Aynı izin veya ruhsat alanında açılacak yeni galeri veya ocaklar için YSA ile hazırlanan hava hızı tahminleri kullanarak vantilatör seçimi yapılabilir. Mevcut vantilatörün hava hızı ayarı bu girdi parametreleriyle tahminlenip ayarlanması sağlanabilir.

- Doğal havalandırmanın hava hızı tahminleri vantilatörün devreye alınıp alınmaması veya uygun ayarda çalıştırılması hesapları büyüyen ve enerji kaynakları azalan dünyada tasarrufa sebep olması sebebiyle işletme giderleri ve çevre duyarlılığı açısından önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akdaş, S. B., & Fişne, A. (2023, Ekim). A data-driven approach for the prediction of coal seam gas content using machine learning techniques. *Applied Energy*. doi:10.1016/j.apenergy.2023.121499
- Akyürek, B., & Soysal, Y. (1983). Biga Yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) temel jeoloji özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 1-13.
- Anani, A., Adewuyi, S. O., Risso, N., & Nyaaba, W. (2024, Nisan). Advancements in machine learning techniques for coal and gas outburst prediction in underground mines. *International Journal of Coal Geology*. doi:10.1016/j.coal.2024.104471
- Atabey, E., Ilgar, A., & Sakıtaş, A. (2004). Middle-upper miocene stratigraphy of Çanakkale, NW Turkey. *MTA Dergisi*(128), s. 48-49.
- Ayvazoğlu, E. (1984). *Madenlerde Havalandırma ve Emniyet*. İTÜ Maden Fakültesi.
- Bakır, A., & Aydın, C. (2008). *İstatistik*. Nobel Yayınevi.
- Bayram, N. (2012). *Veri Analizi:Excel ve SPSS Uygulamalarıyla Birlikte*. Siyasal Kitabevi.
- Bingöl, E., Akyürek, B., & Korkmazer, B. (1973). Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun özellikleri. *50. Yıl Yerbilimleri Kongresi*.
- Borsi, J., Ferrara, G., Innocenti, F., & Mazzuoli, R. (1972). Geochronology and petrology of recent volcanics in the Eastern Aegean Sea (West Anatolia and Lesvos Island). *Bulletin Volcanologique*(36), s. 473-496.
- Bozkaya, G., & Gökçe, A. (2001). Kuru (Çanakkale) Pb-Zn yataklarının Jeolojisi, Cevher Mikroskobisi ve Sıvı Kapanım Özellikleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*(18 (1)), s. 55-70.
- Brodny, J., Felka, D., & Tutak, M. (2022, Eylül). The use of the neuro-fuzzy model to predict the methane hazard during the underground coal mining production process. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2022.133258
- Choi, R., Coyner, A., Kalpathy-Cramer, J., & Chiang, M. (2020). Introduction to Machine Learning, Neural Networks, and Deep Learning. *Translational Vision Science & Technology*. doi:10.1167/tvst.9.2.14
- Chollet, F. (2017). *Deep Learning with Python*. Manning Publications.
- Çınaroğlu, S. (2017). Sağlık Harcamasının Tahmininde Makine Öğrenmesi Regresyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, s. 179-200.
- Dhar, V. (2013). Data Science: Overview and Future Directions. *Communications of the ACM*, s. 64-73. doi:10.1145/2465572.2465578

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Elman, J. L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, s. 179-211.
- Elmas, Ç. (2011). *Yapay Zeka Uygulamaları*. Seçkin Yayıncılık.
- Ercan, T., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B., Küçükayman, A., & Erkan, M. (1984 c). Bigadiç çevresinin (Balıkesir) jeolojisi ve magmatik kayaçların petrolojisi. *TJK Bildiriler Kitabı*, s. 75-85.
- Ercan, T., Günay, E., & Türkecan, A. (1984 a). Edremit-Korucu yöresinin (Balıkesir) Tersiyer stratigrafisi, magmatik kayaçların petrolojisi ve kökensel yorumu. *TJK Bülteni*(27), s. 21-30.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., . . . Yıldırım, T. (1995). Biga Yarımadasıyla Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer volkanizmasının özellikleri. *MTA Dergisi*(117), s. 55-86.
- Ercan, T., Türkecan, A., Akyürek, B., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., . . . Özkirişçi, C. (1984 b). Dikili-Bergama-Çandarlı (Batı Anadolu) yöresinin jeolojisi ve magmatik kayaçların petrolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*(20), s. 47-60.
- Ertürk, O. (1990). Petrology of the Cenozoic volcanics in the Biga peninsula, NW Turkey. *Int. Earth Sci. Cong. On Aegean Region*, s. 368-384.
- Ertürk, O., & Uygur, E. (1994). Petrographical, sedimentological and diagenetic characteristics of the Ceylan tuffs and their reservoir potential, Thrace basin, Turkey. *IAVCEI International Volcanology Congress, Abstracts*.
- Farley, B., & Clark, W. (1954). Simulation of self-organizing systems by digital computer. *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory*, s. 76-84.
- Field, A. (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage.
- Gevrek, A., Şener, M., & Ercan, T. (1986). Çanakkale-Tuzla jeotermal alanının hidrotermal alterasyon etüdü ve volkanik kayaçların petrolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 55-81.
- Gevrek, A., Şener, M., & Ercan, T. (tarih yok). Çanakkale-Tuzla jeotermal alanının hidrotermal alterasyon etüdü ve volkanik kayaçların petrolojisi. *MTA Dergisi*(103/104), s. 55-81.
- Graupe, D. (2019). *Principles of Artificial Neural Networks*. World Scientific.
- Güngör, E. (2007). Yapay Sinir Ağları Yardımı İle Makine Arızalarının Önceden. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Haanes, H., & Rudjord, A. L. (2018). Significance of seasonal outdoor releases of thoron from airflow through a point source during natural ventilation of a mine-complex in thorium-rich bedrock. *Atmospheric Pollution Research*, s. 1000-1008.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Hartman, H. L., & Mutmanský, J. M. (2019). *Mine Ventilation and Air Conditioning*.
- Hartman, H. L., Mutmanský, J. M., Ramani, R. V., & Wang, Y. J. (1997). *Mine Ventilation and Air Conditioning*. Wiley - Interscience.
- Haykin, D. (1994). *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Prentice Hall.
- Haykin, S. (2009). *Neural Networks and Learning Machines*. Pearson.
- Hebb, D. O. (1949). *The Organization of Behavior: A Neuropsychological Theory*. Psychology Press.
- Holmes, A. W. (1966). 1. Bölge Trakya'nın jeolojik etüdü ve stratigrafisi. *TPAO Arama Grubu Raporu, No:368*.
- Hong, Y., Kang, J., & Fu, C. (2022, Ocak). Rapid prediction of mine tunnel fire smoke movement with machine learning and supercomputing techniques. *Fire Safety Journal*.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, s. 2554-2558.
- Ihsan, A., Cheng, J., Widodo, N. P., Wang, E.-y., Waly, F. Z., Syachran, S. R., . . . Khamidah, H. N. (2024, Temmuz). Hybrid method for analyzing air thermal conditions in underground mines. *Expert Systems With Applications*. doi:10.1016/j.eswa.2023.123026
- Karacan, C. Ö. (2007). Development and application of reservoir models and artificial neural networks for optimizing ventilation air requirements in development mining of coal seams. *Internatiol Journal of Coal Jeology*, s. 221-239.
- Karasu, S., Altan, A., Saraç, Z., & Hacıoğlu, R. (2018). Prediction of Bitcoin prices with machine learning methods using time series data. *IEEE*. doi:10.1109/SIU.2018.8404760
- Kazakov, B., Shalimov, A., & Semin, M. (2015). Stability of natural ventilation mode after main fan stoppage. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, s. 288-293.
- Kıran Yıldırım, D. (2013). Kuru (Çanakkale) Yöresi Kurşun-Çinko Cevherleşmelerinin Oluşum Mekanizmasının Jeokimyasal Modellenmesi. *Doktora Tezi*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Krishnaswamy, C. R., Gilbert, E. W., & Pashley, M. M. (2000). Neural Network Applications in Finance: A Practical Introduction. *Financial Practice and Education*, s. 75-84.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep Learning. *Nature*, s. 436-444.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Liu, Q., & Wu, Y. (2012). Supervised Learning. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, s. 3243-3245. doi:10.1007/978-1-4419-1428-6_451
- Lyalkina, G. B., Nikolaev, A. V., & S., M. N. (2019). Factors influencing strength and direction of natural ventilation pressure in general mines to control mine airing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/795/1/012027
- MADEN VE PETROL İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ . (2023). MAPEG: www.mapeg.gov.tr adresinden alındı
- Makal, S., & Kizilay, A. (2007). Classification of Cylindrical Targets above Perfectly Conducting Flat Surfaces by Statistical Neural Networks. *2007 IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications*. doi:10.1109/SIU.2007.4298729
- Mano, M., & Cilletti, M. (2014). *Digital Design*. Pearson.
- Mathatho, S., Adewale, P., Owolawi, & Tu, C. (2019). Prediction of methane levels in underground coal mines using artificial neural networks. *IEEE Xplore*. doi:10.1109/ICABCD.2019.8851041
- McPherson, M. J. (1993). *Subsurface Ventilation Engineering*. Springer.
- Minsky, M., & Papert, S. (1969). *Perceptrons*. Springer.
- Murray, J. E., & Silvestre, J. (2016, Ağustos). New process technologies in European coal production, 1850-1900: The case of mine ventilation. *Yale Department of Economics*, s. 5. https://economics.yale.edu/sites/default/files/new_process_technologies_in_european_coal_production_for_yale_sept_2016.pdf adresinden alındı
- Nabiyev, V. (2003). *Yapay Zeka*. Seçkin Yayıncılık.
- Nikolaev, A. V., Alymenko, N. I., Kamenskikh, A. A., Alymenko, D. N., Nikolaev, V. A., & Petrov, A. I. (2017). Factors defining value and direction of thermal pressure between the mine shafts and impact of the general mine natural draught on ventilation process of underground mining companies. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/87/5/052020
- Okay, A. İ., Siyako, M., & A., B. K. (1990). Biga yarımadasının jeolojisi ve tektonik evrimi. *TPJD Bülteni*, s. 83-121.
- Okay, İ., Tansel, İ., & Tüysüz, O. (2001). Obduction, subduction and collision as reflected in the Upper Cretaceous-Lower Eocene sedimentary record of western Turkey. *Geological Magazine*(138/2), s. 117-142.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Önce, G., & Saraç, S. (2001). *Madenlerde Havalandırma*. Eskişehir: OĞÜ.
- Öztemel, E. (2016). *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Bilim.
- Prince, A. S. (2021, Ağustos). A comprehensive review of energy-efficiency of ventilation system using Artificial Intelligence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi:10.1016/j.rser.2021.111153
- Ray, K., Gupta, T., & Sarkar, F. (2023, Mayıs). Sensitivity analysis and prediction of diesel particulate matter emissions in Indian underground metalliferous mines using regression and machine learning algorithms. *Measurement*. doi:10.1016/j.measurement.2023.112742
- Rochester, N., Holland, J., Haibt, L., & Duda, W. (1956). Tests on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer. *IRE Transactions on Information Theory*, s. 80-93.
- Rosenblatt, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, s. 386-408.
- Ruilin, Z., & Lowndes, I. S. (2010). The application of a coupled artificial neural network and fault tree analysis model to predict coal and gas outbursts. *International Journal of Coal Geology*, s. 141-152.
- Rumelhart, D., Hinton, G., & Williams, R. (1986). Learning Representations by Back-propagating Errors. *Nature*, s. 533-536.
- Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson.
- Samuel, A. (1959). Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. *IBM Journal of Research and Development*, s. 210-229. doi:10.1147/rd.33.0210
- Sanford, R. L. (1997). *Natural Ventilation*.
- Saraç, S. (2020). *Maden Havalandırma*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Sfondrini, G. (1961). Surface Geological Report on Ar/TPAO/1/538 and 537. *TPAO Arama Grubu Raporu, No:1429*.
- Siyako, M., Bürkan, K. A., & Okay, İ. (1989). Biga ve Gelibolu yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. *TPJD Bülteni*(1/3), s. 183-199.
- Sönmez Çakır, F. (2019). *Yapay Sinir Ağları*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Specht, D. F. (1988). Probabilistic Neural Networks. *Neural Networks*, s. 109-118.
- Specht, D. F. (1990). Probabilistic Neural Networks: A Review. *Neural Networks*, s. 541-553.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1999). *Reinforcement Learning: An Introduction*. Bradford Books.
- Sümengen, M., Terlemez, I., Şentürk, K., & Karaköse, C. (1987). *Gelibolu yarımadası ve güneybatı Trakya havzasının stratigrafisi, sedimantolojisi ve tektoniği*. MTA Enstitüsü.
- The MathWorks, Inc. (2024). *MATLAB The Language of Technical Computing*. MATLAB The Language of Technical Computing: https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html?s_tid=hc_panel adresinden alındı
- Tong, X. (2020). Continual monitoring technology of the natural ventilation pressure and its application countermeasures in coal mine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/558/2/022043
- Wang, S., Wang, W.-p., Shao, K., Ding, W.-h., Cui, Z., Shao, W., & Ji, W.-x. (2023, Nisan). Operation optimization of a refrigeration ventilation system for the deep metal mine. *Case Studies in Thermal Engineering*. doi:10.1016/j.csite.2023.102817
- Wang, W., & Xu, Z. (2004). A Heuristic Training for Support Vector Regression. *Neurocomputing*, s. 259-275.
- Widrow, B., & Hoff, M. E. (1960). Adaptive Switching Circuits. *IRE WESCON Convention Record*, s. 96-104.
- Yalçın, E. (2012). *Yeraltı Havalandırması*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Yazici, İ., Shayea, I., & Din, J. (2023). A survey of applications of artificial intelligence and machine learning in future mobile networks-enabled systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. doi:10.1016/j.jestch.2023.101455
- Yu, Y.-s., Roh, J.-h., & Kim, J. (2013). A study on thermodynamic natural ventilation analysis by the field survey of underground mines in Korea. *Tunnel & Underground Space*, s. 288-296.
- Zhang, G., Patuwo, B., & HU, Y. (1998). Forecasting with artificial neural. *International Journal of Forecasting*, s. 35-62.
- Zhang, J., Zhang, T., & Li, C. (2024, Eylül). Migration time prediction and assessment of toxic fumes under forced ventilation in underground mines. *Underground Space*, s. 273-294.