

T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
HALK SAĞLIĞI ANABİLİM DALI

**YAPAY SİNİR AĞI İLE KÖMÜR İŞÇİLERİNDE
PNÖMOKONYOZ RİSKLERİNİN ÖNGÖRÜLMESİ**

Dr. Işıl ZORLU

TIPTA UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Mehmet Ali KURÇER

ZONGULDAK

2021

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı'nda sürdürdüğüm uzmanlık eğitimim süresince her daim bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, halk sağlığı bakış açısı kazanmamı sağlayan, hiçbir konuda destek ve katkılarını esirgemeyen saygıdeğer hocalarıma, başta tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Ali KURÇER olmak üzere Sayın Prof. Dr. Ferruh Niyazi AYOĞLU ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Bilgehan AÇIKGÖZ'e en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmamın yapay sinir ağı analizlerinde çok büyük katkıları olan Sayın Dr. Öğretim Üyesi Okan ERKAYMAZ'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Başta Arş. Gör. Dr. Ayşegül EKEMEN olmak üzere uzmanlık eğitimim boyunca aynı ortamı paylaştığım tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma destekleri için teşekkür ederim.

Son olarak beni yetiştiren ve bugünlere gelmemi sağlayan sevgili annem Cemile ZORLU, sevgili babam Mustafa ZORLU ve bu çalışmanın veri toplama aşamasında da emeği olan canım kardeşim Damla ZORLU'ya anlayış ve destekleri için sevgiyle teşekkür ederim.

05/2021

Işıl ZORLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
TABLO DİZİNİ	vii
ŞEKİL DİZİNİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	2
2.1. İş Sağlığı ve Güvenliği	2
2.2. Madencilik Sektörü ve Kömür Madenciliği	2
2.2.1. Maden sektöründeki sağlık riskleri	3
2.2.2. Madencilikte solunabilir ajanlara maruziyete bağlı sağlık riskleri	4
2.3. Meslek Hastalığı Kavramı	6
2.3.1. Pnömokonyoz	8
2.3.2. Kömür işçisi pnömokonyozu	9
2.3.3. Sürveyans ve epidemiyoloji	9
2.3.4. Risk faktörleri	13
2.3.5. Patogenez	15
2.3.6. Klinik bulgular ve tanı	17
2.3.7. Radyolojik görüntüleme	17
2.3.8. Tedavi	19
2.3.9. Progresif masif fibrozis	19
2.3.10. Ülkemizde yasal süreç	20
2.3.11. Pnömokonyozdan korunma	21
2.4. Tahmin Araştırmaları	24
2.5. Yapay Zeka Kavramı	24
2.6. Yapay Sinir Ağları	25
2.6.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi	26

2.6.2.	Yapay sinir ağlarının yapısı ve temel elemanları	27
2.6.3.	Yapay sinir hücresi (proses elemanı) ve yapay sinir ağlarının yapısı	28
2.6.4.	Öğrenme stratejileri	32
2.6.5.	Yapay sinir ağlarının özellikleri	33
2.6.6.	Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması	35
2.6.7.	Tek katmanlı algılayıcılar	37
2.6.8.	Çok katmanlı algılayıcılar.....	38
2.6.9.	Radyal tabanlı fonksiyon ağı (RBFNN)	39
2.6.10.	YSA ve istatistiksel yöntemler	40
2.6.11.	Yapay sinir ağlarının uygulama alanları.....	41
2.6.12.	Sağlık alanındaki uygulamalar:	41
2.6.13.	Finans sektöründeki faaliyetler.....	42
2.6.14.	Endüstriyel faaliyetler.....	43
2.6.15.	Askeri ve savunma uygulamaları.....	43
2.6.16.	Diğer uygulama alanları	43
2.6.17.	Yapay sinir ağlarının pnömokonyoz ile ilgili araştırmalarda kullanımı	44
3.	GEREÇ VE YÖNTEM.....	45
3.1.	Araştırmanın Tipi	45
3.2.	Araştırmanın Yapıldığı Yer	45
3.3.	Araştırma Zaman Çizelgesi	45
3.4.	Araştırma Evreni ve Örneklem Seçimi.....	46
3.5.	Araştırma Katılım Şeması	47
3.6.	Araştırma Uygulama Aşamaları, Veri Toplama Araçları ve Veri Toplama Yöntemi.....	48
3.7.	Araştırmanın Değişkenleri	48
3.7.1.	Girdiler	48
3.7.2.	Çıktılar.....	49
3.8.	Araştırmanın Değişkenlerine Ait Tanım ve Ölçütler	49
3.8.1.	Sanat dallarının sınıflandırılması:.....	49
3.8.2.	Sanat dalı gruplarına göre mesleki kategorilendirme	52
3.9.	Verilerin Değerlendirilmesi.....	53
3.9.1.	İstatistiksel değerlendirme	53

3.9.2. Yapay sinir ağı tasarımı	54
3.9.3. Nöral ağ analizi	55
3.10. Araştırmanın Kısıtlılıkları	55
3.11. Etik Konular	55
4. BULGULAR.....	56
4.1. Yapay Sinir Ağı Analizleri.....	60
4.1.1. Ağ modeli Eğitimi için Veri Setinin Hazırlanması	61
5. TARTIşMA	72
5.1. Çalışmanın Kısıtlılıkları	80
6. SONUÇLAR.....	82
7. KAYNAKLAR	83
8. EKLER.....	92

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simge/Kısaltma	Açıklama
CDC	Centers for Disease Control and Prevention (Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi)
DSÖ	Dünya Sağlık Örgütü
HRCT	High Resolution Computed Tomography (Yüksek Çözünürlüklü Bilgisayarlı Tomografi)
ILO	International Labour Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
KİP	Kömür İşçisi Pnömonyozu
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health (ABD Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü)
PMF	Progresif Masif Fibrozis
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
YSA	Yapay Sinir Ağı

TABLO DİZİNİ

Tablo Numarası	Tablo Başlığı	Sayfa Numarası
Tablo-1	Pnömonokonyoz olan ve olmayanların yaş ve çalışma öyküsü açısından karşılaştırması	58
Tablo-2	Pnömonokonyoz olan ve olmayanların sosyodemografik özellikler ve çalışma öyküsü açısından karşılaştırması	59
Tablo-3	Eğitim, Test ve Doğrulama Setlerindeki Kişi Dağılımları	61
Tablo-4	Girdi Katman Ağırlıkları	70
Tablo-5	Girdi Katmanı Ağırlıklarının Mutlak Değerleri Toplamına Göre Önem Dereceleri	71

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil Numarası	Şeklin Başlığı	Sayfa Numarası
1	Bir nöronun ağırlıklı toplama işlemi	28
2	Temel Yapay Sinir Ağı Hücresi: Yapay Nöron	29
3	YSA'da hücresele toplama işlemi	30
4	Yapay Sinir Ağlarında En Çok Kullanılan Aktivasyon Fonksiyonları	31
5	Sigmoid fonksiyon	31
6	Yapay Sinir Ağı Yapısı	32
7	İleri ve Geri Beslemeli Ağ Yapılarının Sınıflandırılması	36
8	Bir Yapay Sinir Ağıının İleri ve Geri Beslemeli Topolojisi	36
9	Tek Katmanlı Algılayıcı Modeli	37
10	XOR problemi	38
11	Araştırma Katılım Şeması	47
12	Ara katman nöron sayısına göre YSA'nın performansındaki değişim	60
13	YSA Mimarisi	61
14	Verilerin YSA'ya Uygulanması Sonucu Elde Edilen Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix)	62
15	ROC Eğrisi	63
16	Eğitim Seti Karmaşıklık Matrisi	64
17	Test Seti Karmaşıklık Matrisi	65
18	Doğrulama Seti Karmaşıklık Matrisi	66
19	Eğitim Seti ROC Eğrisi	67
20	Test Seti ROC Eğrisi	68
21	Doğrulama Seti ROC Eğrisi	69

ÖZET

Işıl ZORLU, Yapay Sinir Ağı İle Kömür İşçilerinde Pnömkonyoz Risklerinin Öngörülmesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi, Halk Sağlığı Anabilim Dalı, Tıpta Uzmanlık Tezi, 2021

Amaç: Bu araştırmada yapay sinir ağı ile kömür işçilerinde pnömkonyoz riskini öngörebilen bir model oluşturulması amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Türkiye Taş Kömürü Kurumunda çalışmakta olan işçilerin sağlık verileri kullanılarak yapay sinir ağı tabanlı bir model geliştirilmiştir. Ağ modeli 7-33-2 mimarisine sahiptir. Girdi nöronları; yaş, işe giriş yılı, mesleki kategori, yer altında çalışılan gün sayısı, toplam çalışılan gün sayısı, 1.grup işlerde çalışılan süre ve sigara kullanım durumunu, çıktı nöronları; pnömkonyoz olma ve pnömkonyoz açısından sağlıklı olma durumunu içermektedir.

Bulgular: Araştırmada; pnömkonyoz riskini tahmin etmek amacıyla yaş, birinci grup işlerde çalışma süresi, yer altı gün sayısı, işe giriş yılı, toplam gün sayısı, sigara içme durumu, mesleki kategori gibi değişkenlerden oluşan bir yapay sinir ağı modelinin kullanılabilmesi saptanmıştır. Modelin başarı oranı % 95,3, sensitivitesi % 90,3, spesifitesi % 96,5 olarak bulunmuştur. Pnömkonyoz üzerinde en etkili girdi değişkeni yaş, ikincisi ise 1. grup işlerde çalışılan süredir.

Sonuç: Bu araştırma ülkemizde pnömkonyoz riskini öngörmek amacıyla yapay sinir ağlarının kullanılabilmesini araştıran ilk çalışma olması bakımından önemlidir. Kömür işçisi pnömkonyozu riskinin öngörülmesi; madencilerin stratejik olarak izlenmesinde ve koruyucu sağlık programlarının geliştirilmesinde çok büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu alanda kullanmak amacıyla yapay sinir ağı modellerinin geliştirilerek işyeri hekimliği pratiğine entegre edilmesi ve işçilerin sağlık durumunu değerlendirmelerine yardımcı bir araç olarak kullanılması faydalı olabilir.

Anahtar Kelimeler: iş sağlığı, kömür işçisi, meslek hastalığı, pnömkonyoz, yapay sinir ağı

SUMMARY

İşıl ZORLU, Prediction of Pneumoconiosis Risks in Coal Workers Using an Artificial Neural Network, Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Medicine, Department of Public Health, Thesis, 2021

Aim: This study aims to create a model that can predict the risk of pneumoconiosis in coal workers by using an artificial neural network.

Materials and Methods: An artificial neural network-based model has been developed using the health data of the workers working in the Turkish Hard Coal Enterprises. The network model has a 7-33-2 architecture. Input neurons include age, the year they started employment, occupational category, the number of days worked <zASunderground, the total number of days worked, the number of days worked in 1st group jobs, and smoking status. Output neurons include having pneumoconiosis and being healthy.

Results: The research results have determined that an artificial neural network model consisting of variables such as age, working time in first group jobs, number of underground days, the year they started employment, the total number of days, smoking status, and an occupational category can be used to estimate pneumoconiosis. The model's success rate was found to be 95.3%, sensitivity 90.3%, and specificity 96.5%. The most influential input variable on pneumoconiosis is age; the second is the amount of time worked in group 1 jobs.

Conclusion: This study is essential as it is the first study researching the use of artificial neural networks to predict the risk of pneumoconiosis in our country. Predicting the risk of coal worker pneumoconiosis provides tremendous advantages in strategically monitoring miners and developing preventive health programs. It may be beneficial to develop artificial neural network models for use in this field, integrate them into workplace medicine practice, and use them as a tool to assist in assessing workers' health status.

Key Words: *artificial neural network, coal worker, occupational disease, occupational health, pneumoconiosis*

1. GİRİŞ

Pnömonokonyoz dünya çapında hala önemli meslek hastalıklarından biridir ve şu anda pnömonokonyozu tedavi edici herhangi bir ilaç bulunmamaktadır. Bu nedenle hastalığın gelişme riskinin doğru şekilde tahmin edilmesi ve etkili önleme ve kontrol stratejileri büyük önem taşımaktadır (1, 2). İş sağlığı alanındaki araştırmalar akciğer hastalıklarının öngörülmesinin mümkün olabildiğini göstermektedir. Çok değişkenli tanısal araştırmalar için ana motivasyon kaynağı; daha invaziv ve maliyetli referans testi yapmak zorunda kalmadan, kabul edilebilir düzeydeki bir hata olasılığı ile basit tanısal testlerin hedef hastalığın varlığını veya yokluğunu önceden tahmin edip edemediğini belirleyebilmektir. Tahmin araçlarının kullanılması karar verme sürecine yardımcı olmakta ve rutin kullanımlarının masrafları azaltabileceği düşünülmektedir (3, 4). Pnömonokonyoz, aileye ve topluma büyük ekonomik yükler getirebilmektedir. Araştırmalarda, pnömonokonyoz olacağı tahmin edilen işçilere etkili önleyici tedbirler uygulanabilirse ekonomik olarak da ciddi bir tasarruf söz konusu olacağı gösterilmiştir (5-7). Kömür işçisi pnömonokonyozu (KİP), kömür işçilerinde en sık görülen meslek hastalığıdır (8). Şu anda kömür işçisi pnömonokonyozu riskini tahmin etmek için yapay sinir ağları, çoklu doğrusal regresyon, üslü düşüş eğrisi, Zaman Serisi Analizi, Markov modeli vb. gibi birçok analiz yöntemi kullanılmaktadır (2). Yapay sinir ağları insan beyni yapısını taklit eden bir bilgi işleme sistemidir. Uyarlanabilir özelliği olan bu sistem aracılığıyla daha iyi hata toleransı elde edilebilmektedir. Bu nedenle, geleneksel istatistiksel tahmin yöntemleriyle karşılaştırıldığında, daha iyi bir alana ve daha geniş uygulama olasılığına sahiptir. Ayrıca yapay sinir ağları sayesinde birçok faktörün etkisinin bireysel olarak tahmin edilmesi de çok önemli bir avantaj sağlamaktadır (6, 9). Dünyada pnömonokonyozların radyolojik sınıflandırmasının yapılması için yapay sinir ağlarının kullanıldığı birçok araştırma mevcuttur (10-15). Ancak literatürde pnömonokonyoz risklerinin öngörülmesine dair çalışmalar sınırlıdır (1, 5, 16). Ülkemizde ise literatürde bu konuda yapılmış araştırmaya rastlanmamıştır. Bu araştırma, yapay sinir ağı kullanılarak kömür işçilerinde pnömonokonyoz risklerini öngörebilen bir model oluşturmayı amaçlamaktadır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. İş Sağlığı ve Güvenliği

Dünya nüfusunun yarısından fazlası bir işte çalışmaktadır ve bu nedenle her ülkenin sosyoekonomik gelişimi; çalışanlarının sağlığı, güvenliği, çalışma yeteneği ve refahına dayanmaktadır. İşyerinde güvenlik ve sağlık sadece işçiler için değil, aynı zamanda işletmeler, toplumlar ve ülkeler için de oldukça önemlidir (17). Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü'ne (DSÖ) göre iş sağlığı; sağlığın bozulmasını önleyerek, riskleri kontrol altına alarak bireylerin işlere, işlerin ise bireylere uyumunu sağlayarak, bütün meslek kollarında çalışanların mental, fiziksel ve sosyal iyilik halini en üst düzeyde sürdürmek ve geliştirmektir (18). İş kazaları ve meslek hastalıklarına; iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının kötü olduğu yerlerde çalışan işçilerde daha sık karşılaşılmaktadır ve bir ülkede bunların oranları iş sağlığı ve güvenliğinin göstergelerinden biri olarak kabul görmektedir (19). İşçilerin sağlık ve güvenliğinin korunması, madencilik faaliyetlerinde önemli bir husustur ve çoğu ülkede yasalar ve yönetmelikler tarafından zorunlu kılınmıştır. (20).

2.2. Madencilik Sektörü ve Kömür Madenciliği

Madencilik, uygarlığın ilerlemesine yön veren, çeşitli meslek gruplarını kapsayan büyük bir endüstridir (21, 22). Dünyanın hemen hemen her ülkesinde bir çeşit madencilik veya taş ocakçılığı yapılmaktadır. Madenciliğin hem yürütüldüğü ülke veya bölgelerde hem de ötesinde önemli ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri vardır. Madencilik sektöründe 10 milyonu kömürde olmak üzere yaklaşık olarak 30 milyon çalışan istihdam edilmektedir ki bu küresel işgücünün % 1'ini oluşturmaktadır. Bununla birlikte, her madencilik işi için doğrudan madenciliğe bağlı en az bir iş mevcuttur. Ayrıca ek olarak en az 6 milyon kişinin de küçük ölçekli madenlerde

çalıştığı tahmin edilmektedir. Bakmakla yükümlü oldukları kişiler hesaba katıldığında, yaklaşık 300 milyon kişi madencilik sayesinde geçimini sağlamaktadır (20).

Kömür, enerji üretimi amacıyla yüzlerce yıldır fosil yakıt olarak kullanılmaktadır (23). Fosil yakıtların küresel ısınma dahil birçok çevre sağlığı sorununa yol açtığı bilinmesine rağmen kullanımından vazgeçilememektedir. Dünya Kömür Birliği'ne göre dünyada elektriğin yaklaşık %41'i, çeliğin ise %68'i kömür kullanılarak üretilmektedir (24). Günümüzde doğal gaz, petrol, yenilenebilir kaynaklar, nükleer enerji gibi başka enerji kaynakları da kullanılmasına rağmen nüfus artışı ve enerji ihtiyacındaki artış sebebiyle kömür, enerji üretimindeki önemini korumaktadır. Dünyada kömür rezervlerinin çoğunluğu Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Rusya, Avustralya ve Çin'de bulunmaktadır. Günümüzde Amerika ve Avrupa kömür üretim ve tüketimindeki yerini Asya'ya devretmeye başlamıştır. Türkiye'nin toplam kömür üretiminin %3'ünü taş kömürü, %97'sini ise linyit kömürü oluşturmaktadır (25). Türkiye'de taş kömürü rezervlerinin önemli bölümü Zonguldak Havzasındadır. Bu rezervler Kozlu, Karadon, Üzülmüş, Armutçuk ve Amasra bölgelerinde bulunmaktadır. Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) ve onun kontrol alanındaki özel maden şirketleri 2018'de dünyadaki taşkömürü üretiminin % 0,1'ini karşılamıştır (23). Zonguldak kömür havzasının jeolojik özellikleri ve arazinin fay hatları ile parçalanmış olmasının yer altı kömür damarlarını etkilemesi nedeniyle kömür üretimi tam mekanize şekilde yapılamamakta ve yoğun insan gücü kullanılarak üretim sağlanabilmektedir (24).

2.2.1. Maden sektöründeki sağlık riskleri

Meslek hastalıkları ve iş kazaları nedeniyle her sene binlerce madencinin kaybedilmesi, madencilik tarihin en riskli sektörlerinden biri haline gelmesine yol açmıştır (22). Maden işçileri, işyeri koşullarının sürekli değişen bir kombinasyonu ile karşı karşıyadır. Madenler, işlerin çoğunun ağır iş gücü gerektirdiği tehlikeli yerlerdir. İşçilerin karşılaştığı tehlikeler; göçük, patlamalar ve yangın gibi felaketlerden kazalara; toz, gürültü, ısı ve daha fazlasına maruziyete kadar çeşitlilik göstermektedir.

Kömür madenciliği, tehlikeli işyerleri listesinde üst sıralarda yer almaktadır. Yer altı işlerde birden fazla can kaybı içeren büyük bir olay potansiyeli her zaman mevcuttur. Bu tür felaketlerin ana nedenleri; tünellerin hatalı mühendisliği nedeniyle göçükler, metan birikimi ve havada asılı kömür tozunun yanıcı seviyelerinden kaynaklanan patlama ve yangınlardır (20).

Madencilik faaliyetlerinde çalışanlar; yakıtlar, reaktifler, çözücüler, deterjanlar, kimyasallar, kömür tozu, silika tozu, dizel partikül maddesi, asbest, kaynak dumanı ve metal tozu dahil toz ve gaz formundaki çeşitli potansiyel toksik veya zararlı maddelere maruz kalmaktadır (26). Ayrıca madenciler; ağır fiziksel iş yükü, gürültü, titreşim, radyasyon, yüksek sıcaklık ve nem koşulları gibi sağlık açısından çok fazla risk faktörü ile karşılaşmaktadır (27-29). Dolayısıyla bu mesleki maruziyetlere bağlı olarak gelişen meslek hastalıkları da madencilik sektöründeki sağlık riskleri içerisinde önemli yer tutmaktadır. Madencilik ve mesleki akciğer hastalığı arasındaki ilişki, Agricola'nın akciğerlere zarar veren tozu tanımladığı 1500'lerden itibaren belgelenmiştir (30). Madenin derinliğine, cevherin içeriğine ve kullanılan madencilik methodlarına bağlı olarak sağlık tehlikeleri ortaya çıkabilmektedir. Bu tehlikelere maruziyetin boyutu; işin cinsine, tehlike kaynağı ile olan mesafesine ve tehlike önleme methodlarının etkinliğine bağlı olmaktadır. Ayrıca madencilerin küçük alanlarda bir arada çalışması sebebiyle hepatit (B ve E), tüberküloz, nem sebebiyle leptospirosis, havalandırma problemleri nedeniyle ise legionellosis gibi enfeksiyon hastalıklarının bulaş riski de mevcuttur (20, 21). Günümüzde bu bulaşıcı hastalık risklerine kapalı alanlarda ve yakın mesafelerde insandan insana kolayca bulaşabilen COVID-19'un da eklenmiş olması muhtemeldir.

2.2.2. Madencilikte solunabilir ajanlara maruziyete bağlı sağlık riskleri

Madencilik faaliyetleri sırasında çeşitli toz, buhar, duman ve aerosoller gibi solunabilen kirletici maddeler ortaya çıkmaktadır. Bu maddeler kimyasal asfiksianlar, fibrojenler, allerjenler, iritanlar, sistemik toksinler ve kanserojen ajanları içermektedir. İşçilerin yer altında kapalı, dar ve havalandırmanın olmadığı alanlarda

çalışmak durumunda kalması bu tip hava kirletici ajanların taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Bu tip maddelere maruz kalınması durumunda, akciğerlerde akut hasarlar, pnömokonyoz, solunum fonksiyonlarında azalma gibi durumlar görülebilmektedir. Bazı ajanlar ise akciğer kanseri ve hatta ölüme yol açabilmektedir (19, 21).

Toz, değişik büyüklüklerde olmakla birlikte genellikle 1 mm'den küçük, havada asılı kalabilen ya da zaman içerisinde çökelen katı parçacıkları ifade eden bir terimdir (31). Tozla Mücadele Yönetmeliği'ne göre aerodinamik eşdeğer çapı 0,1–5,0 mikron büyüklüğünde kristal veya amorf yapıda tozlar ile çapı üç mikrondan küçük, uzunluğu çapının en az üç katı olan lifsi tozlar, solunabilir tozlar olarak kabul edilmektedir (32). Bu maddelere maruziyet riski olan iş kollarının başında madenler, taş ocakları, seramik-cam yapım yerleri ve kuvars değirmenleri gelmektedir (19). Madencilerin ve taş ocağı işçilerinin en yaygın karşılaştığı toz; solunabilir kömür tozu ve yer kabuğunda bol miktarda bulunan bir bileşik olan kristalin serbest silikadır. Solunabilir kömür madeni tozu, yer altı ve yer üstü kömür madenlerinde ve kömür işleme tesislerinde önemli bir tehlikedir. Çoğunlukla kömürden oluşan karışık bir tozdur, ancak silika, kil, kireçtaşı ve diğer mineral tozlarını da içerebilmektedir. Kömür madeni tozunun bileşimi kömür damarına, çevreleyen tabakaların bileşimine ve madencilik yöntemlerine göre değişmektedir. Kömür madeni tozu; kömürün patlatılması, delinmesi, kesilmesi ile üretilmekte ve yükleme, taşıma, boşaltma işlemleri sırasında hava akımı yoluyla maden havasına dağılmaktadır. Potansiyel olarak havadaki üretilmiş toz miktarı, kırılan kaya miktarı ile ilişkilidir. Değişik kaya tiplerindeki silika içeriği farklıdır ve başta kuvars olmak üzere silika ve silikatlar fibrojenik özelliğe sahiptir (19-21, 33). Kömür madeni tozuna maruziyet sebebiyle madencilerde pnömokonyoz, kronik bronşit ve obstrüktif akciğer hastalığı gibi hastalıklar görülebilmektedir. Bu hastalıkların meydana gelmesi ve ciddiyeti; maruz kalınan toz miktarı, maruziyet süresi ve toz içeriği ile yakından ilişkilidir (20). Kömür üretimi ve nakliyesi esnasında ortaya çıkan tozlu hava, görüş mesafesinin azalmasına, çalışma koşullarının zorlaşmasına, elektronik ve mekanik cihazların zarar görmesine yol açmaktadır. Tüm bunlara bağlı olarak; iş kazalarında, onarım ve bakım giderlerinde yükselmeye ve üretim kaybına yol açmaktadır (34).

Asbest ise madencilik sektöründe karşılaşılan bir başka solunabilir toz olarak karşımıza çıkmakta ve asbestozis, mezotelyoma ve akciğer kanserine yol açmaktadır. Yine maden sektöründe karşılaşılan dizel motor egzozunda bulunan gaz, duman ve partiküler maddeler akciğer malignite riskini arttırmaktadır. Metan, hidrojen sülfür, karbondioksit ve karbon monoksit kömür madenlerinde rastlanabilen gazlardandır. Metan yanıcı özelliktedir ve madenlerde patlamaların en önemli nedenidir. Bir diğer patlama sebebi ise kömür tozunun yol açtığı patlamalardır. Motor egzozları ve yangınlar nedeniyle karbon monoksit açığa çıkabilmektedir. Oksijen seviyesinin düşüklüğü de madenlerdeki önemli sorunlar arasında görünmektedir (21).

Maden sektöründeki tüm bu ciddi risklere rağmen hala küresel enerjinin ve endüstrinin devamlılığının sağlanmasında madencilik çok önemli bir yer tutmaktadır (22). Gelişmekte olan ülkelerin en az 25 yıl daha kömürü birincil yakıt kaynağı olarak kullanacağı tahmin edilmektedir (35). Tüm risklerine rağmen kömür endüstrisinin devamlılığını destekleyen taraflar kömürün; doğal gaz, nükleer enerji ve petrole nazaran daha düşük maliyetli olduğunu, ülkelerin genellikle kendi kömür kaynaklarına sahip olduğunu, istihdam açısından diğer kaynaklardan daha verimli olduğunu ve yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yüksek miktarda enerji üretme potansiyeline sahip olduğunu savunmaktadır (22).

2.3. Meslek Hastalığı Kavramı

Meslek hastalıkları, mesleğe özgü bazı sağlıksız şartlardan kaynaklanan ve genel popülasyonla kıyaslandığında bu mesleğin çalışanlarında daha yaygın görülen hastalıklardır (36). 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nun 14. maddesine göre; 'Meslek hastalığı, sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal engellilik halleridir' (37). İşle ilgili hastalıklar ve meslek hastalığı kavramı karışabilmektedir. İşle ilgili hastalıklar sıklıkla işyerinde mevcut olan birçok nedensel etkenden kaynaklanan multifaktöriyel hastalıklardır. Hastalığa yol açan etken direkt işyeri kaynaklı olmasa

dahi işyerindeki faktörler hastalığın gelişimine sebep olabilmekte veya hızlandırabilmekte, hastalığın şiddetini arttırabilmektedir. Bu tip hastalıklar genel popülasyonda da sıklıkla görülebilmektedirler. Meslek hastalıklarında ise hastalığa neden olan faktör genellikle bellidir, genellikle yapılan işe özgüdür ya da işle hastalık arasında güçlü bir ilişki vardır, klinik tablo kendine hastır ve o meslekte çalışan bireylerde topluma göre sıklığı daha fazladır. Genellikle hastalığa yol açtığı düşünülen faktör ya da maddeler mesleğin uygulandığı alanlarda tespit edilebilmektedir (21). Hastalığın başlaması için latent dönem vardır ve bu süre değişkendir. Yoğun bir maruziyet söz konusu olduğunda akut patolojiler görülebileceği gibi daha hafif ama tekrarlayan maruziyetler nedeniyle de yıllar içerisinde hastalık gelişebilmektedir. Bireylerin aynı ajanlara ya da risk faktörlerine vereceği yanıtın süresi de birbirinden çok farklı olmaktadır. Ayrıca bu tip hastalıkların gelişmesinde ve ilerlemesinde, sebep olan faktörlerin ortamdaki yoğunluğu da oldukça önemlidir. Meslek hastalıkları önlenebilir özelliktedir. Meslek hastalıklarına neden olan risk faktörlerinin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması mümkündür. Ancak çalışma ortamlarında birçok farklı maddeyle temas halinde olunması, tekrarlayan maruziyetler sonucu uzun süre sonra tanı koyulması ve çalışanların sıklıkla iş yeri değişikliği yapmaları nedeniyle farklı ajanlara maruz kalmaları sebep sonuç ilişkilerinin kurulmasını zorlaştırmaktadır (19).

Uluslararası Çalışma Örgütü meslek hastalıkları listesini 2010 yılında revize etmiştir. Buna göre meslek hastalıkları; fiziksel, kimyasal, biyolojik (enfeksiyöz ya da parazitik hastalıklar) ajanlara maruziyetten kaynaklanan hastalıklar, hedef organ/sistem hastalıkları (mesleki solunum sistemi hastalıkları, mesleki kas iskelet sistemi hastalıkları, mesleki deri hastalıkları, zihinsel ve davranışsal bozukluklar), mesleki kanserler ve diğer hastalıklar olarak listelenmektedir. Mesleki Solunum Sistemi Hastalıkları; pnömokonyozlar (silikoz, kömür işçisi pnömokonyozu, asbestoz), silikotüberküloz, sideroz, sert metal tozuna bağlı bronkopulmoner hastalıklar, bisinozis, bagasozis, iş faaliyetleri nedeniyle maruz kalınan maddelere bağlı kronik obstrüktif akciğer hastalığı, astım, alerjik alveolit ile üst solunum yolları bozuklukları ve alüminyuma bağlı akciğer hastalıklarıdır (38).

Meslek hastalıkları bildirimlerinde birçok ülkede, özellikle de gelişmekte olan ülkelerde büyük sıkıntılar yaşanmaktadır (17). 1990'lı senelerin ortalarına değin

bildirimi yapılmış meslek hastalıkları içerisinde ilk sırada mesleki solunum sistemi hastalıkları bulunmakta idi. Ancak meslek hastalıklarının erken tespitindeki gelişmeler ve birincil koruma stratejilerinin başarısı sayesinde mesleki solunum sistemi hastalıkları en sık rastlanan meslek hastalıkları listelerinde daha alt sıralara gerilemiştir. Buna rağmen Türkiye’de mesleki solunum sistemi hastalıkları bildirimi yapılmış olan meslek hastalıkları listelerinde hala ilk sırada bulunmaktadır (19). Ülkemizde 2019 yılı SGK istatistiklerine göre tanı koyulmuş 1088 meslek hastalığı olgusunun 406’sı solunum sistemi hastalıklarına bağlıdır. 325 olgu silis içeren tozlara bağlı pnömokonyoz, 68 olgu iç kulakta gürültünün etkileri, 28 olgu ise KİP’tir. Diğer sıklıkla teşhis edilen meslek hastalıkları ise kas iskelet sistemi rahatsızlıkları, cilt hastalıkları ve sinir sistemi hastalıklarıdır. Ayrıca meslek hastalığı tanısı alan hastaların neredeyse yarısında meslek hastalığı tanısı emeklilik sonrası tespit edilmiştir (39). Meslek hastalığının kesin tanısı ve kararını 6331 sayılı ve 2012 tarihli İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu uyarınca Sosyal Güvenlik Kurumu vermektedir (40).

2.3.1. Pnömokonyoz

Akciğerlerde biriken tozlar sebebiyle meydana gelen doku reaksiyonu neticesinde oluşan hastalık pnömokonyoz olarak adlandırılmaktadır (32). Pnömokonyoz; Yunanca pneumon (akciğer) ve konis (toz) sözcüklerinden türetilmiştir (41). Tozlar, çapı 1 ile 100 mikron arasında değişen; kaynakları, fiziksel özellikleri ve ortam koşullarına bağlı olarak havada asılı olan veya asılı hale gelebilen katı partiküllerdir (42). Bazı kaynaklarda 10 mikron ve daha küçük tozların alveoler alana ulaşabildiği belirtilmekle beraber Tozla Mücadele Yönetmeliği’nde çapı 0,1–5,0 mikron olan kristal veya amorf yapıda tozlar ile çapı üç mikrondan küçük, uzunluğu çapının en az üç katı olan lifsi tozlar, solunabilir tozlar olarak kabul edilmektedir (22, 32). Pnömokonyoza sebep olan maddeler inorganik partiküllerdir (silika, kömür tozu, asbest) (22). İnorganik partiküllere maruziyeti olan bireylerin akciğerlerinin bu tozlara karşı göstereceği reaksiyon; bu solunabilir partiküller maddelerin ve maruziyetin özelliklerinin yanı sıra bireysel özelliklere bağlı olarak da değişmektedir. Tozun partikül çapı ve şekli, işin uygulanma süreci, çalışma süresi, maruziyet süresi ve

yoğunluğu, ortam ve havalandırma koşulları, bireyin solunum biçimi ve hızı, solunan partiküllerin dağılımı ve konsantrasyonu, kişisel koruyucu ekipman kullanım durumu gibi faktörler oluşacak sağlık risklerinin boyutu açısından önemlidir (19, 22). Benzer miktarda ve benzer özellikte toz maruziyeti olan bireylerin bu maddelere farklı reaksiyonlar verebildiği gözlenmektedir. Bu durum bireylerin solunum sistemi yapılarındaki, toz duyarlılıklarındaki ve savunma mekanizmalarındaki farklılıkların yanı sıra sahip oldukları diğer kronik hastalıklar, sigara kullanımı gibi bireysel başka faktörler ile açıklanmaktadır. Pnömokonyoz teşhisi koyabilmek için hastalıkla uyumlu meslek öyküsü ve maruziyet olmalı, radyolojik olarak pnömokonyoz ile uyumlu bulgular olmalı ve bu bulgular başka bir patoloji ile açıklanamıyor olmalıdır (19).

2.3.2. Kömür işçisi pnömokonyozu

Kömür işçisi pnömokonyozu kömür tozunun uzun süreli inhalasyonu ile akciğerlerde birikmesi ve akciğer dokusunun toza verdiği tepki sonucu gelişen tedavi edilemez ancak önlenabilir bir solunum sistemi hastalığıdır (43-45). KİP, kömür işçilerinde en sık görülen meslek hastalığıdır (8, 46, 47). Sinsi başlangıçlı, kronik, geri döndürülemez bir hastalıktır ve rutin akciğer grafilerinde belirgin hale gelmeden önce genellikle 10 veya daha fazla yıl toza maruz kalmayı gerektirir (45). Özellikle ilk vakanın bildirildiği 1831 yılından itibaren madencilerde sıklıkla KİP tanıları koyulmuş ve bu hastalığa “madencinin siyah akciğeri” denilmiştir (19, 48).

2.3.3. Sürveyans ve epidemiyoloji

Mesleki akciğer hastalıklarının önemli bir bölümünü pnömokonyozlar oluşturmaktadır (36). Dünyada 25-30 sene öncesine kadar pnömokonyoza neden olan ortamlarda çalışan madencilerde pnömokonyoz sıklığı %10-15 civarı iken özellikle birincil koruma yöntemleri sayesinde %0,3-5 civarına düşürülmüştür. Türkiye’de ise

sıklık %10-15 olarak görünmektedir (19). Pnömokonyoz, sıklığında azalma eğilimi olmasına rağmen hala dünya çapında önemli meslek hastalıklarından biridir (1).

Küresel olarak, pnömokonyoz vakalarının sayısı 1990'da 36186 'dan 2017'de 60 055'e yükselmiştir. Ancak yaşa göre standardize insidans aynı dönemde yılda ortalama %0,6 azalmıştır (insidansı 100000'de 0,86'dan 0,75'e). Yaşa göre standardize silikoz, kömür işçisi pnömokonyozu ve diğer pnömokonyoz insidansları azalmış, asbestoz insidansı ise artmıştır. Küresel olarak, pnömokonyozların yaklaşık %40'ına kristal silika neden olmuş, bunu kömür tozu, asbest ve diğer nedenler izlemiştir. Kömür işçilerinin pnömokonyoz vakalarını rapor eden yalnızca 78 ülke ve bölge olmasına rağmen, 2017'de kömür işçisi pnömokonyozu toplam pnömokonyoz vakalarının %25'ini (15 080) oluşturmuştur. Bu dönemde yaşa standardize KİP insidansı 100000'de 0,24'ten 0,19'a gerilemiştir. Farklı etiyolojilerin neden olduğu pnömokonyoz insidans modelleri, dünyada bölgeler ve ülkeler arasında önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (49).

Dünya çapında meydana gelen tüm pnömokonyoz vakalarının yaklaşık %70-75'i Çin'dedir. Çin Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü tarafından 2003 yılında yayınlanan bir raporda mesleki hastalıkların %70'inin pnömokonyoz olduğu bildirilmiştir (50). Pnömokonyoz hastalarının sayısı 850.000'i aşarak çok büyüktür (51). Çin'de bildirilen pnömokonyoz prevalansı %6,02, Hindistan'da ise %3,03 gibi yüksek düzeylerde seyretmektedir (44, 52, 53). Çin'de her yıl 10.000'den fazla yeni pnömokonyoz vakası görülmekte ve kömür işçisi pnömokonyozu, vakaların yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Rapor edilmeyen vakaların sayısının resmi olarak bildirilen rakamın yaklaşık 10 katı olduğu tahmin edilmektedir (54). Günümüzde, kömür madenleri hala Çin'deki en büyük enerji kaynağıdır ve yaklaşık 8 milyon kömür işçisi pnömokonyoz riski altındadır (55, 56).

KİP oluşumu ve ilerleme hızı, madencilerin çalışma yaşamı boyunca maruz kaldığı solunabilir toz miktarı ile yakından ilişkilidir (57, 58). 1960- 70 yılları sonrası dönemde gelişmiş ülkelerde birincil korunma önlemleri alınması sayesinde KİP prevalansında önemli bir azalma olmuştur. Prevalanstaki bu düşüşü sağlayan önlemlerden en önemlisi toz seviyelerinin azaltılmasıdır. (19). ABD'de kömür madeni işçileri üzerinde yapılan bir araştırma, 1970-1972 yılları arasında çalışan kömür

madencilerinin yaklaşık %25 ila 40'ının madencilikte 30 veya daha fazla yıl sonra kategori 1 veya daha ileri küçük yuvarlak opasitelere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu prevalans, bu dönem öncesinde çalışan kömür işçilerinin 6 mg/m^3 veya daha fazla solunabilir kömür tozuna maruz kaldıklarını göstermektedir. ABD yer altı kömür madencilerinin maruz kalabileceği toz seviyesi için ülke çapında bir sınır 1969'a kadar belirlenmemiştir. 1969 yılında yer altı kömür madenlerinde havada bulunan solunabilir toz konsantrasyonları üzerinde sıkı kontroller getiren Federal Kömür Madeni Sağlık ve Güvenlik Yasası kabul edilmiştir. 1969'da 3 mg/m^3 'lük toz sınırının getirilmesi, 1972'de bu sınırın 2 mg/m^3 'e düşürülmesi, hastalık prevalansının önceki seviyelerin yaklaşık yarısına düşmesini sağlamıştır. Toz kontrolü sayesindeki düşüşler Birleşik Krallık ve Avustralya'da da kaydedilmiştir. Ne yazık ki, bu kazanımlar başka yerlerdeki prevalanstaki zamansal artışlarla dengelenmiştir (20, 59-62).

1969'daki bu yasa, Amerika Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü'nü (NIOSH) kömüre bağlı solunum hastalıklarının nedenlerini ve sonuçlarını incelemeye ve Maden Güvenliği ve Sağlık İdaresi (MSHA) ile işbirliği içinde KİP'in erken tespit ve önlenmesi için bir program yürütmeye yönlendirmiştir. Bu faaliyetler Kömür İşçilerinin X-ray Gözetim Programı (CWXSP) aracılığıyla yönetilmektedir. Bu yasa ile birlikte KİP prevalansları 1970'lerin başlarında %10'un üzerindeyken 30 yıl içerisinde 1990'ların sonlarına doğru %2'nin altına düşmüştür. Güney Afrika'daki tahmini oran ise %2,6 olarak bildirilmiştir (63-65). ABD'deki bu programlardan elde edilen verilere göre 1996'dan 2002'ye kadar yer altı madencilerin radyografilerinde KİP prevalansları %0 ile %9,6 arasında değişmektedir (64).

Pnömokonyoza karşı önemli halk sağlığı önlemleri alınmasına rağmen yeni teşhis edilen pnömokonyoz vakalarının sayısı son yıllarda küresel ölçekte artmıştır (49). ABD, Avustralya ve İngiltere gibi gelişmiş ülkelerde de pnömokonyoz vakalarının arttığını bildiren yayınlar mevcuttur (66-68). ABD'de KİP prevalansının, 1990'lardan 2000'lere %3,2'ye yükseldiğini bildiren çalışmalar mevcuttur. Aynı çalışmalarda bu artışın tozun fiziko-kimyasal özelliklerindeki değişiklikler, toz bastırma faaliyetlerinde azalma ve artan iş yükü (yani artan maruziyet) gibi bazı nedenlere atfedilebileceği belirtilmektedir (69). Maden Güvenliği ve Sağlık İdaresi 2014 yılında standart solunabilir kömür madeni tozuna maruz kalma sınırını 2,0

mg/m³'ten 1,5 mg/m³'e düşürmüş ve kömür madeni tozuna bağlı akciğer hastalıkları için genişletilmiş tıbbi izleme ve sürekli kişisel toz monitörlerinin kullanımını içerecek şekilde toz izleme sistemlerinde değişiklikler yapılmıştır. Pnömokonyozun uzun latent dönemi nedeniyle bu kuralların kömür işçisi pnömokonyozu prevalansına etkisinin muhtemelen daha sonraki yıllarda gözleneceği düşünülmektedir (70).

Pnömokonyoz hala gelişmiş ülkelerde de ciddi bir sorundur (19). ABD Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi'nin (CDC) 1996 yılında yayınladığı işle ilişkili akciğer hastalıkları sürveyans raporuna göre 1968'den 1992'ye kadar olan süre boyunca ABD'de yüz binin üzerinde pnömokonyoz ölümü olmuştur. Kömür işçisi pnömokonyozu ölümleri, diğer pnömokonyoz türlerinden açıkça üstündür ve pnömokonyoz ölümlerinin yaklaşık yüzde 60'ına tekabül etmektedir. 1991 ve 1992 yıllarında ise ABD'de KİP mortalite oranları milyonda 9,84 ve 8,87'dir. Yine aynı raporda pnömokonyozun kronik bir hastalık olduğu ve etkilenen birçok kişinin beklenen yaşam süresine kadar yaşayabildiği belirtilmiştir (71). 2016 yılında, pnömokonyozun küresel ölçekte 21.488 ölüme neden olduğu saptanmıştır (72).

CDC'nin 1968-2000 yılları arasında pnömokonyozla ilgili ölüm trendlerini incelediği araştırmada asbestoz dışındaki tüm pnömokonyozlara bağlı ölümlerde azalma tespit edilmiştir (73). 1999-2018 yıllarındaki analizlerinde ise pnömokonyozla ilgili ölümlerde %40,4 oranında azalma olduğu ve en büyük düşüşün kömür işçisi pnömokonyozuna bağlı ölümler (%69,6) için kaydedildiği raporlanmıştır. CDC, KİP'teki bu düşüşü, kömür madenciliği endüstrisinde işgücündeki azalmaya ve 1969 Federal Kömür Madeni Sağlık ve Güvenlik Yasası gibi kömür madenlerinin federal denetimleri ve uygulanabilir güvenlik önlemleri alınmasını zorunlu kılan yasal eylemlere bağlamaktadır (70).

Madencilik ekonomisinin önemli bir parçası olan Avustralya'da pnömokonyoz bildirimlerinin zorunlu olmaması nedeniyle vakalarla ilgili bilgilere ulaşmak zordur. Buna rağmen, 1979-2002 yılları arasında pnömokonyoz mortalite sürveyanslarının incelendiği araştırmalardan elde edilen sonuçlarda özellikle kömür işçisi pnömokonyozu ve silikozis olgularının ve bunlara bağlı mortalite oranlarının düştüğü ancak asbestozisin arttığı belirtilmektedir (44, 66).

Pnömokonyozlar Türkiye’de hala çok sık görülmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu verilerine bakıldığında pnömokonyozun Türkiye’de en sık üçüncü iş sağlığı problemi olduğu görülmektedir. Türkiye’de bildirim sistemindeki aksaklıklar nedeniyle pnömokonyoz verileri yetersizdir (74). Zonguldak taş kömürü havzasında çalışanlarda ilk KİP tarama programı 1968’de başlatılmıştır. 1970’den 2005’e kadar 35 yıl taramalar yapılmış ve bu süreçte KİP oranı 1000 kişi başına 8,44’ten 16.23’e yükselmiştir (75). Ülkemizde yapılmış bazı akademik araştırmalarda KİP prevalansının %1 ila 14 civarında değiştiği saptanmıştır (21). Türkiye Taşkömürü Kurumunda çalışmakta olan işçilerde KİP sıklığı 2009 senesinde %1,46 olarak saptanmıştır (36). Sosyal Güvenlik Kurumu’nun (SGK) yayınladığı meslek hastalıkları istatistiklerine göre 2017 yılında konulan meslek hastalığı tanısı 693’tür; bunların %2,6’sı ise KİP tanısıdır ve %5,2’si kömür ve linyit madeni işçileridir (76). Yine SGK’nin yayınladığı istatistiklerde 2019 yılında 1088 kişi meslek hastalığı tanısı almıştır. Bunlardan 406 kişi solunum sistemi hastalığına sahiptir. 28 kişi KİP tanısı, 16 kişi asbeste bağlı pnömokonyoz, 325 kişi ise ‘diğer, silisyum içeren tozlara bağlı pnömokonyoz’ tanılarını almıştır (77).

2.3.4. Risk faktörleri

Kömür madeni işçilerinde KİP gelişmesi için tozun kompozisyonu, içeriğinde bulunan karbon, silika ve diğer minerallerin konsantrasyonu, maruz kalınan kümülatif doz miktarı, partikül boyutu, maruziyet süresi ve çalışma ortamı gibi faktörlerin dışında; işçinin yaşı ve solunum sisteminin maruz kaldığı tozları etkisiz hale getirebilme yetisi gibi faktörler de çok önemlidir. Dolayısıyla, pnömokonyoz gelişiminde hem toza bağlı faktörler hem de bireysel faktörler etkili olmaktadır (41, 65, 78, 79).

Bitkisel kaynaklı maddelerin yüzyıllar içerisinde ısı, basınç ve geçirdiği kimyasal reaksiyonlar ile tortulaşması sonucu oluşan kayaçlar kömürü oluşturmaktadır (19). Çıkarıldığı yere göre kömür; kimyasal yapısı, sabit karbon düzeyi, kül, uçucu madde, nem, kükürt, mineral madde içeriği, termik özellikleri, jeolojik özellikler

nedeniyle farklılıklar göstermektedir (23). Kömürün içeriğindeki saf karbon yüzdesine göre kömürün tipi değişmektedir (19). Uluslararası Standartlar Örgütü tarafından kömürler; sert kömürler yani taş kömürü (bitüminöz/antrasit) ve kahverengi kömürler (alt bitümlü/linyit) olarak gruplandırılmıştır. Taş kömürünün karbon içeriği yüksek, başta linyit olmak üzere kahverengi kömür türünün ise düşüktür (23). Türkiye’de daha çok linyit ve bitüminöz taş kömürü rezervleri bulunmaktadır. Linyit jeolojik yaşı en genç kömür türlerinden biridir ve kalitesinin düşük olduğu kabul edilmektedir. Bitüminöz taş kömürü ise orta kalitede bir kömür tipidir. Yerel jeolojik farklılıklara bağlı olarak çalışılan madene göre kömürün içerdiği karbon yüzdesi değişmektedir ve bu nedenle farklı madenlerde farklı KİP insidansları görülebilmektedir (19).

Kömür saflığı (karbon yüzdesi), KİP gelişiminin önemli bir öngörücüsüdür (20). Çalışmalar hızlı ilerleyen KİP vakalarının daha çok kömürün jeolojik yaşı ve sertliğinin bir ölçütü olan karbon içeriğine bağlı olarak bazı bölgelerdeki madenlerde kümelenmeler gözlenebileceği belirtilmektedir (65). ABD, Birleşik Krallık, Almanya ve diğer ülkelerdeki çalışmalar, KİP prevalansının kömür saflığıyla belirgin bir şekilde arttığına dair açık göstergeler sunmuştur ve sıklık, antrasit (yüksek dereceli) kömürün çıkarıldığı yerlerde önemli ölçüde daha yüksektir (20, 47, 57). Bir araştırmada antrasit kömürü madenlerinde çalışan işçilerde pnömokonyoz sıklığının 5 kat daha yüksek olduğu saptanmıştır (80). Bir araştırmada, bitüminöz kömür madenlerinde 2 mg/m³ toz ortamına maruz kalan madencilerin %2-12'sinin 40 yıllık bir çalışma süresinden sonra Kategori 2 veya daha yüksek oranda KİP’e sahip olması, Progresif masif fibrozis (PMF) oranının ise %1,3 ile %6,7 arasında olması beklendiği belirtilmiştir (57).

Sadece farklı madenlerde değil ayrıca aynı kömür ocağı içerisinde farklı alanlarda çalışan işçilerde dahi toza maruziyetin şekli ve yoğunluğu ile ilişkili olarak KİP riski değişmektedir (19). Dolayısıyla mesleki kategoriye ve çalışılan yere göre işçiler çalışma türü, aktivite, maruz kalma süresi vb. gibi birçok faktöre bağlı olarak farklı toz seviyelerine maruz kalabilmektedir (81). Özellikle yapılan çalışmalarda farklı iş türleri için farklı KİP prevalansları saptanmış olup en fazla uzun ayak ve yüzey bölümleri gibi kömür üretiminde çalışan işçilerde ve tünel açma işçilerinde görüldüğü belirtilmiştir (80, 82). Hızlı ilerleyen KİP vakalarının daha yüksek tozlu ortamlarda, daha küçük madenlerde çalışan ve kömür yüzeyindeki toza maruz kalınan işleri yapan madenciler olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle daha küçük madenlerde ve belirli

bölgelerde mevcut toz limitlerinin uygulanmasına ilişkin özel ihtiyat gösterilmesi ve maruziyetleri kontrol altına alabilmek için özellikle yüksek rütbeli kömür alanlarında çalışan maden işçilerine yönelik ek önlemlere ihtiyaç duyulabileceği belirtilmektedir (65).

Toza bağlı faktörlerin dışında bireysel faktörler de işçilerin tozdan gördüğü zararın boyutunu etkileyebilmektedir. Madenci yaşı, hastalık gelişimi üzerinde bir miktar etkiye sahip gibi görünmektedir. Bununla birlikte, bunun zaman etkisi mi yoksa sadece bir artefakt mı olduğu, daha yaşlı madencilerin daha duyarlı olduklarını ima edip etmediği tam olarak net değildir (20, 47, 57). Çok yüksek pnömokonyoz oranlarının gözleendiği Sincan Uygur Özerk Bölgesi'nde çalışma kategorisi, başlangıç yaşı ve tüberkülozun pnömokonyoz gelişiminde anahtar risk faktörleri olduğunu ve kötü iş sağlığı uygulamaları ve kötü ekipmanların yüksek toz seviyelerinin ana nedenleri olduğu belirtilmiştir (83). Genetik yatkınlık, yaş, sosyoekonomik düzey, sigara kullanımı, diğer akciğer hastalıklarının varlığı gibi bireysel faktörlerinde solunabilir ajanlara duyarlılıkta önemli olduğu bilinmektedir (84). Sigaranın, özellikle asbest olmak üzere tüm solunabilir mineral tozlarının zararlı etkilerini arttırdığı bilinmektedir (85).

Bazı çalışmalar yer altı madencileri kadar tozlu ortamlarda çalışmasa dahi yer altı madenciliği deneyimi çok az olan veya hiç olmayan bazı yer üstü kömür madencilerinin de ciddi önlenebilir solunum hastalıklarından muzdarip olduğunu göstermektedir (46). Bu nedenle NIOSH yer üstü kömür madencilerinin de yer altı madencileri için yapılabilecek benzer şekilde periyodik sağlık sürveyansına dahil edilmesini önermektedir (86, 87).

2.3.5. Patogenez

KİP, kömür tozunun uzun süreli maruziyet sonucunda akciğerlerde depolanarak proinflatuar ve pro-fibrotik yolakların aktive olmasına sebep olması ve bu sayede anormal onarım süreçlerinin oluşması nedeniyle gözlenen patolojik bir durumdur (88). Patogenezde rol oynayan ve pnömokonyozun başlaması ve ilerlemesine neden olan

mediatörler; interlökin-1 ve 8, tümör nekrozis faktör (TNF- α), Transforming Growth Faktör- β ile nötrofil ve aktive olmuş makrofajların saldığı oksidanlardır (19).

KİP'te birincil lezyon kömür makülüdür. Kömür makülü, alveolar makrofaj ve mukosilier klirens tarafından temizlenen miktarı aşan toz maruziyeti sonucunda oluşmaktadır. Bu durum terminal solunum ünitelerinde kömür tozunun birikmesine yol açmaktadır. Uzun süreli birikim fibroblastların respiratuvar bronşiyol yakınında makül sınırlayıcı bir retikülin tabakası salgılamasına neden olmaktadır. Makülün progresif olarak ilerlemesi bronş duvarını zayıflatabilmektedir. İnflamatuvar mediyatörlerin salınımı ve fibröz doku birikiminin artması ile bu maküller büyümekte ve akciğer radyografilerinde görülebilen mikronodüller adı verilen daha organize, yoğun, merkezi, toz pigmentli lezyonlara dönüşmektedir. Bu kömür nodülleri; toz yüklü makrofajlar, kollajen ve retikülin karışımını içermektedir. Kömür nodüllerinin varlığı akciğer fibrozunu göstermekte ve akciğer radyografilerinde görülen opasitelerden büyük ölçüde sorumlu olmaktadır. Bu kömür nodülleri silikotik de olabilmektedir. Başlangıçta akciğerin üst lobları tutulurken hastalığın ilerlemesi ile alt loblar da tutulmaktadır. Madencilerin yalnızca küçük bir kısmında komplike veya progresif fibrotik hastalık gelişmektedir (20, 44, 89). Hastalık akciğerlerde küçük veya büyük opasiteler şeklinde radyografik olarak görülebilen maküler ve nodüler pigmente lezyonlarla karakterizedir. Yalnızca küçük opasiteler mevcut olduğunda duruma KİP denilmektedir. Kömür madeni tozuna maruz kalmaya atfedilebilen çapı 1 cm'den büyük radyografik opasiteler mevcut olduğunda ise komplike KİP ya da Progresif masif fibroz olarak adlandırılmaktadır (45). Bu yapılar patolojik olarak incelendiğinde ise respiratuvar bronşiollerde makrofajların içerisinde 1-2 μ m çapında, dens, siyah renkli, ana içeriği karbon olan ancak bir miktar silika ve demir de içerebilen partiküller görülmektedir (19).

2.3.6. Klinik bulgular ve tanı

Basit pnömokonyozda genellikle ayırt edici klinik bulgu görülmemekle birlikte ilerlemiş pnömokonyozlu hastalarda öksürük, dispne ve balgam görülebilmektedir. Hastalığın tanısı klinik bulgulardan ziyade, kömür tozuna maruziyet öyküsü olan işçilerde radyolojik görüntüleme bulguları ile konulmaktadır. Solunum fonksiyon testleri daha çok periyodik muayenelerde veya maluliyet seviyesinin belirlenmesinde yardımcı olarak kullanılmaktadır (36).

2.3.7. Radyolojik görüntüleme

Pnömokonyozların tespitinde en önemli araçlar akciğer grafileridir (45). Bu nedenle, pnömokonyoz tanısında hem klinik bulgular, hem de radyolojik inceleme çok önemlidir. Toz birikintileri ve nodüler doku reaksiyonları film üzerinde opasitelere neden olmaktadır. Bu opasitelerin bolluğu, ILO tarafından yapılmış standartlaştırılmış uluslararası bir radyografik tanımlama yöntemi kullanılarak sistematik olarak değerlendirilebilmektedir. ILO'nun Uluslararası Pnömokonyoz Radyografileri Sınıflandırması, akciğerde tozların solunmasıyla ortaya çıkan sistematik radyografik anormallikleri kaydetmek için uluslararası olarak tanınan bir araçtır (90). Bu sınıflama pnömokonyoza neden olabilen işlerde çalışan işçilerin erken tespiti amacıyla 1930 yılında Güney Afrika'da Johannesburg'da ILO uzmanlar komitesi tarafından geliştirmiştir. Üzerinde birçok düzenleme yapılan sınıflandırma 2003 yılında 14 radyografiden oluşan ek bir set ve bazı sembollerin bulunduğu metin ile revize edilmiştir. Şuan bu sınıflama; 22 ana grafi, 14 ek grafi ve açıklama metni ile tanımlanmaktadır. Bu örnek grafiplerdeki bulgular otopsi ile doğruluğu kanıtlanmış bulgulardır. Pnömokonyoz tanısı için çekilen posteroanterior akciğer grafisinin boyutu (35x35 veya 30x40 cm) ve tekniğinin her işçi için standart olması gerekmektedir (19).

Bu yöntemle inflamasyon, toz birikmesi veya skarlaşmadan kaynaklanan opasiteler şekil, boyut, yerleşim yeri ve bolluğuna göre sınıflandırılmaktadır (45). Bu yöntemde, bireysel posterior-anterior filmler, küçük opasitelerin bolluğunu gösteren

standart radyografilerle karşılaştırılmakta ve film, standarda benzerliğine göre dört ana kategoriden (0, 1, 2, 3) birinde sınıflandırılmaktadır. Okuyucunun filmin ILO kategorilerine benzerliği konusundaki değerlendirmesine bağlı olarak ikincil bir sınıflandırma da yapılmaktadır. Akciğerde boyut, şekil ve oluşma bölgesi gibi opasitelerin diğer yönleri de not edilmektedir. Çin ve Japonya gibi bazı ülkeler, kendi ihtiyaçlarına uygun sistematik radyografi açıklaması veya yorumu için benzer sistemler geliştirmiştir. Geleneksel olarak, küçük yuvarlak opasiteler kömür madenciliği ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca düzensiz opasitelerin de kömür madeni tozuna maruziyetten kaynaklanabileceğini gösterilmiştir. KİP ve silikozun opasiteleri genellikle radyografide ayırt edilememektedir. Bununla birlikte, daha büyük boyutlu opasitelerin daha sıklıkla silikozu gösterdiğine dair bazı kanıtlar vardır (90). ILO sınıflandırma sistemi başlangıçta hastalık tespitini iyileştirmek ve sağlık gözetimi ve epidemiyolojik araştırmalar sırasında grafilerin yorumlamasında tutarlılık sağlamak amacıyla oluşturulmuştur. Bu amaçlar için tasarlanmamış olmasına rağmen, maluliyet tazminatının tespiti ve klinik değerlendirme için de kullanılmaktadır (45). Bu sınıflandırma sayesinde pnömokonyoz istatistiklerinin uluslararası karşılaştırması yapılabilmektedir (19).

Toz maruziyetinin erken dönemlerinde radyografilerin duyarlılığı düşük olabilmektedir (45). Ancak özellikle lezyonların daha yüksek profüzyonlarında, akciğer patolojisi bulguları ile radyografiler arasında bir korelasyon var gibi gözükmektedir (91). Standartlaştırılmış şekilde yorumlanan göğüs radyografileri, pnömokonyozlu işçileri tanımlamanın temel yoludur (92). Yüksek çözünürlüklü bilgisayarlı tomografi (HRCT) ise erken dönemde rutin akciğer grafilerinde görülmeyen değişikliklerin görüntülenmesine yardımcı olabilmektedir (93). Bazı yayınlar KİP'in erken dönemlerinde HRCT'nin akciğer grafisine göre daha duyarlı olduğunu ve erken dönemde pnömokonyozun saptanması amacıyla tarama yöntemi olarak kullanılabileceğini önermektedir (94). Bununla birlikte, anormallikleri geleneksel radyografik değerlendirmeyle ILO sınıflandırmasına göre kodlamak, epidemiyolojik çalışmalarda ve toza maruz kalan işçilerin sağlık gözetimi programlarında ilk adım olmaya devam etmektedir (4).

2.3.8. Tedavi

Alüminyum tozu inhalasyonu ve tetrandin uygulaması dahil olmak üzere çeşitli tedavi biçimleri denenmesine rağmen, akciğerdeki fibrotik süreci etkili bir şekilde tersine çeviren veya yavaşlatan hiçbir tedavi bilinmemektedir. Şu anda, başta Çin'de olmak üzere akciğerdeki toplam toz yükünü azaltmak amacıyla akciğer lavajı denenmektedir. Prosedür, önemli miktarda tozun giderilmesine neden olabilse de; riskleri, faydaları ve madencilerin sağlığının yönetimindeki rolü belirsizdir. Bunun dışında pnömokonyozlu hastalarda tedavideki asıl amaç; komplikasyonları önlemek, madencilerin fonksiyonel durumunu en üst seviyeye çıkarmak ve semptomlarını hafifletmektir. Sigara içen madenciler için sigarayı bırakmak, kişisel maruziyet yönetiminde ilk adımdır. Pnömonok ve influenza aşılımları ile komplikasyonların önlenmesi hedeflenmektedir (20).

2.3.9. Progresif masif fibrozis

KİP, ölümcül olabilen progresif masif fibrozise (PMF/ilerleyici masif fibrozis) dönüşebilmektedir. PMF varlığı komplike KİP'i temsil etmektedir ve artan semptomlar ve mortalite ile ilişkilidir (44). Bir veya daha fazla büyük fibrotik lezyon bulunduğu PMF tanısı koyulmaktadır. PMF ek toza maruz kalınmasa bile zamanla daha şiddetli hale gelmektedir yani progresiftir. PMF gelişmesinde en önemli faktörler kümülatif toz maruziyeti, kömür saflığı, yaş ve KİP evresidir. Ayrıca madencilerde toz maruziyetinin sona ermesinden sonra da PMF gelişebilmektedir. Yoğun kömür tozu maruziyeti öyküsü olan madencilerde radyografilerde 1 cm'den büyük çapta, akciğer dokusundan iyi bir şekilde ayırt edilebilen opasitelerin görülmesi PMF düşündürmektedir (20, 44). Genellikle bu büyük opasiteler küçük opasitelerin ilerlemesi ile oluşmasına rağmen bazı araştırmalarda PMF'nin beş yıllık bir dönemde kategori 0 profüzyonundan geliştiği de gösterilmiştir (20). PMF lezyonları, muhtemelen bu bölgelerde lenfatik drenajın daha kötü olması sebebiyle, tüberkülozun da sıklıkla yerleşmeyi sevdiği akciğer üst lob posterior ya da alt lob superiorda tek

tarafli veya bilateral olarak yerleşmektedirler (19). Dispne ve diğer solunum semptomları sıklıkla PMF'ye eşlik edebilmektedir. Konjestif kalp yetmezliği nadir olmayan bir komplikasyondur. Ayırıcı tanıda akciğer kanseri, tüberküloz ve granülom gibi diğer hastalıklar da göz önünde bulundurulmalıdır. KİP'te olduğu gibi, sıkı toz kontrol düzenlemeleri ve programları olan ülkelerde PMF oranları düşmektedir. PMF erken ölüme yol açabilmektedir ve hastalığın evresi arttıkça prognoz daha da kötüleşmektedir (20).

2.3.10. Ülkemizde yasal süreç

Zonguldak taş kömürü havzasında KİP, madencilerin tazminat alabilmek amacıyla mahkeme başvurularının artması sonucu 1960'ların başında bir sorun olarak kabul edilmiştir (95). KİP'in bir meslek hastalığı olarak tanınması, toz konsantrasyon ölçümlerinin başlatılması ve işyerlerine göre miktarlarının belirlenmesi gibi bazı önleyici tedbirler alınmasına neden olmuştur (75).

Türkiye'de 2013 yılında Tozla Mücadele Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik ile işverene; tozun olduğu işyerlerinde işçilerin toz ile temasını önlemek ve tozla ilişkili risklerden korunmaları amacıyla koruyucu ve önleyici tedbirler almak, periyodik toz ölçümlerinin yapılmasını sağlamak, çalışanların sağlık gözetimi, eğitim ve bilgilendirilmesini sağlamak gibi yükümlülükler getirerek pnömokonyoz ile mücadele planlanmıştır. Tozla Mücadele Yönetmeliği'ne göre ülkemizde kömür tozu yasal sınırı; % 5 ve daha az SiO₂ içeren solunabilir kömür tozu için 2,4 mg/m³, % 5'ten fazla SiO₂ içeren solunabilir kömür tozu sınırı için ise (10 mg/m³)/(% SiO₂+2) olarak kabul edilmektedir (32).

Çalışma Gücü ve Meslekte Kazanma Gücü Kaybı Oranı Tespit İşlemleri Yönetmeliği ise meslek hastalıklarının tanısı, bildirimini ile ilgili düzenlemeleri ve meslek hastalıkları listesini içermektedir. Bu yönetmelikte pnömokonyoz için "maruziyet süresi" (etkeli maruziyetin başlaması ile semptomların ortaya çıkışı arasında gereken en kısa süre) 3 yıl, "yükümlülük süresi" (çalışanın meslek hastalığına

neden olan işten fiili olarak ayrıldığı tarih ile hastalığın ortaya çıktığı tarih arasındaki en uzun süre) ise 10 yıl olarak belirtilmiştir (96).

Ayrıca pnömokonyoz gibi riskleri en aza indirmek amacıyla madencilerin yer altında çalışma saatleri yasalarla sınırlandırılmıştır. NIOSH'a göre yer altı madenlerinde toplam çalışma süresi günlük 10 saati, haftalık 40 saati geçmemelidir (36). Ülkemizde İş Kanununa İlişkin Çalışma Süreleri Yönetmeliği'nin ek fıkrasına göre yer altı maden işlerinde çalışan işçilerin çalışma süresi; günde en çok yedi buçuk, haftada en çok otuz yedi buçuk saattir (97). Yine Sağlık Kuralları Bakımından Günde Azami Yedi Buçuk Saat Veya Daha Az Çalışması Gereken İşler Hakkında Yönetmelik'te de yer altı maden işleri günlük azami yedi buçuk saatlik çalışması gereken işlere dahil edilmiştir (98).

2.3.11. Pnömokonyozdan korunma

Pnömokonyozlar önlenemez olmasına rağmen, ölümler meydana gelmeye devam etmektedir. Pnömokonyozla ilgili ölüm trendlerini araştıran çalışmaların bulguları solunabilir tozlara maruziyeti azaltmak amacıyla birincil önleme stratejilerinin, erken hastalık tespiti yoluyla ikincil önlemenin ve özellikle zaman içindeki eğilimleri izlemek için gözetimin önemini vurgulamaktadır (70). İşyerinde mineral tozuna maruziyetten kaynaklanan hastalıkların önlenmesi, öncelikle ilgili yasal standartlar ve etkili uygulamalarla desteklenen maruz kalma sınırlarına uyuma bağlıdır. Önemli bir ikincil önlem olan tarama ise birincil önleme çabalarına katkı sağlayabilmektedir. Tarama programları, erken evre hastalığı olan bireyleri belirlemek ve hafif hastalıktan progresif masif fibrozise ilerlemeyi önlemek için kömür işçilerinin sağlığını izlemede çok önemlidir. Taramanın ileri bir uzantısı olan sürveyans faaliyetleri ise, hastalık insidansındaki eğilimleri izleyebilmekte, müdahale alanlarını belirleyebilmekte ve önleyici çabaların değerlendirilmesine yardımcı olabilmektedir (44, 45, 99).

Tozlu ortamlarda toz oluşumuna engel olunması, tozun ortama dağılmadan önce kaynağında yok edilmesi ya da bastırılması gibi işlemler ile ortamdaki toz yoğunluğu

yasal maruziyet sınırlarının altına indirilmeye çalışılmalıdır (32). Mükünse toz maruziyetinin azaltılmasını sağlamak için respiratör kullanımı veya işçi rotasyonu gibi idari kontroller yerine havalandırma ve su spreyleri gibi toz bastırma yöntemleriyle kullanılmalıdır. Kömür madeni tozunun üretimi, kömür kesme tekniklerindeki değişikliklerle azaltılabilmekte ve dağılımı yeterli havalandırma ve su spreyleri kullanılarak kontrol edilebilmektedir (20). Özellikle uzun ayak ve yüzeylerdeki tozu bastırmak amacıyla su kullanılmalı ve üretim çalışmaları öncesinde su ile delme, dikişe su enjeksiyonu, kömür nakliyesi sırasında tozun bastırılması, toz konsantrasyonunun düzenli olarak ölçülmesi gibi önlemler alınmalıdır. Tozun bastırılmasına yönelik eylemlerin etkili olmadığı durumlarda ise toza karşı savaşmak için kişisel koruyucu maske kullanılmalıdır (80).

Kömür tozu ve diğer ortam tozlarının çoğu, basit bir yüz maskesi kullanılarak bile etkili bir şekilde filtrelenebilmektedir. Eğer kaynak, alevle kesme, çözücülerin kullanımı, yakıtların taşınması, püskürtme gibi toz, sis, duman, organik buhar ve asit gaz kombinasyonlarının üretildiği işlemler yapılıyorsa çift kartuşlu solunum cihazlarının kullanılması gerekebilmektedir. Asbest madenlerinde bulunan asbest lifleri, uzun ayak madenciliğinde üretilen kömür tozları ve uranyum madenciliğinde bulunan radyonüklitler gibi madenlerde karşılaşılan belirli partikül türleri, yüksek etkili partikül tam filtresi (HEPA filtre) ile donatılmış pozitif basınçlı bir solunum ekipmanı kullanılmasını gerektirebilmektedir. Bu amaçla motorlu hava temizleme respiratörleri (PAPR) kullanılabilir (20). Kesme tamburlarının dönme hızı düşürüldüğünde ve tramvay hızı (tamburun kömür damarına ilerleme hızı) arttırıldığında, toz oluşumu, verimlilikte kayıp olmaksızın azaltılabilmektedir. Yeterli mekanik havalandırma maruziyeti azaltabilmektedir. Tozu madenciden uzaklaştırıp yüze doğru iten su spreyleri de maruziyetin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bazı ülkelerde toz seviyelerini düşürmek amacıyla 1970'lerde uygulanan düzenleyici önlemlerin, hastalık seviyelerinin büyük ölçüde azalmasına yol açtığına dair kanıtlar mevcuttur. Erken evre KİP belirtileri olan işçiler daha az tozlu işlere nakledilebilmektedir ancak bu tür eylemlerin hastalığın ilerlemesini önlemede başarılı olduğuna dair kanıtlar kısıtlıdır. Bu nedenle tozun bastırılması, hastalığın önlenmesinde birincil yöntemdir. Madencilerin tozla ilgili hastalıklar geliştirdiği tespit

edilirse, maruziyet kontrolüne yönelik çabalar işyeri genelinde yoğunlaştırılmalıdır (20).

Madenlerde işin niteliğine göre belirlenen sürelerde periyodik muayenelerin yapılması; çalışanların sağlık sorunlarının daha erken teşhisine imkan veren çok önemli bir ikincil koruma yoludur. Ayrıca bu sayede bir etkene karşı aşırı duyarlılığı olan işçiler tespit edilerek çalışma ortamları değiştirilebilmektedir (19, 34). Pnömkonyoz ile tutarlı anormallikler için periyodik göğüs radyografilerinin kullanılması, toza maruz kalan işçilerde hastalık taramasının uluslararası uygulanan ana yoludur (60). Yapılacak olan bu periyodik muayenelerin sıklığı ve içeriği kömür tozu maruziyet düzeyine göre değişkenlik gösterebilmektedir; ayrıca bazen periyodik muayenelerde akciğer grafisine ek olarak spirometrik testler de yapılabilmektedir (19). Dünya Sağlık Örgütü, kömüre ve silika tozuna maruz kalan tüm işçilerin, işe başlamadan önce bir temel değerlendirmenin (akciğer grafisi ile) yanı sıra yıllık spirometri, semptom anketleri ve her 2-5 yılda bir grafi takibi olmak üzere ömür boyu sağlık gözetiminden geçmelerini önermektedir (45). Ayrıca sürekli kişisel toz monitörizasyonun yaygın şekilde uygulanması, solunabilir kömür madeni tozu maruziyetlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulduğuna dair önemli bir güvence sağlamaktadır (65).

Pnömkonyozun önlenmesinde eğitim çok önemli bir yer tutmaktadır, tozla mücadele kapsamında işverenlerin çalışanlara iş sağlığı güvenliği hakkında eğitimler verilmesini sağlaması gerekmektedir (34). İşçilere yönelik eğitimlerin yanı sıra Avustralya'da yayınlanan bir makalede genel muayenehanelerde çalışan pratisyen hekimlerin de pnömkonyoz riski taşıyan çalışmakta olan veya emekli işçilerin belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla eğitime alınabileceği önerilmiştir (44).

İşyerinde tozu azaltmak için etkili yöntemler uygulansa bile, pnömkonyozun uzun kuluçka döneminden dolayı eğilimin kısa sürede durdurulması veya tersine dönmesi olası değildir. Özellikle düşük konsantrasyonlarda mesleki toza maruz kalan işçiler, 15 ila 20 yıl sonra pnömkonyoz semptomları geliştirebilmekte ve bu süreçte toza maruz kalmaya devam eden işçilerin pnömkonyoz durumları ilerlemektedir (82).

2.4.Tahmin Araştırmaları

Tahmin araştırmalarında, bir bireyde bir sonucun var olma olasılığını veya gelecekte ortaya çıkma olasılığını tahmin etmek için tahmin modelleri geliştirilir. Bu modeller, bireyler için klinik karar vermeye yardımcı olmak veya hastalık Őiddeti ya da hastalık geliştirme olasılığı farklı olan bireyleri risk gruplarına ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Tahmin modelleri, basit testler kullanarak kabul edilebilir düzeyde hata olasılığı ile birlikte daha gelişmiş, invaziv ve maliyetli referans testi yapmak zorunda kalmadan bir hastalığa sahip olma veya geliştirme olasılığının nesnel ve standartlaştırılmış Şekilde ölçülmesini sağlamaktadır. Diagnostik modeller iş sağlığı alanında uygulandığında, işyeri hekiminin meslek hastalığı riski altındaki işçileri teşhis etmedeki belirsizliklerle başa çıkmasına yardımcı olmaktadır ve düşük maliyetlerle risk tahminini optimize etmektedir. Bu tanısal modellerin kullanımının pnömokonyoz tanısı için akciğer grafisi incelemeleri nedeniyle yapılan önemli sayıda gereksiz sevkleri azaltabildiği gösterilmiştir (4). Bu amaçla günümüzde lojistik regresyon gibi modelleme yöntemlerinin yanı sıra yapay sinir ağlarının da kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

2.5. Yapay Zeka Kavramı

Yapay zeka, insana benzer Şekilde düşünebilme, anlayabilme, zm yolu bulabilme, genelleme yapabilme, kendi başına karar verebilme, geçmişteki deneyimlerden yararlanarak öğrenebilme gibi yüksek mantık süreçleri gerektiren görevleri yerine getirme yeteneği olan makineler yaratabileceğimiz bir bilgisayar bilimi dalı olarak tanımlanmaktadır (100, 101). Yapay zeka kavramı ilk olarak John McCarthy ve arkadaşları tarafından ‘Yapay Zeka Konulu Dartmouth Yaz Araştırma Projesi nerisi’ isimli belgede yer almış ve 1956 senesinde Dartmouth Konferansı’nda ortaya atılmıştır (102). Yapay zeka teknolojisi; performansı, zaman verimliliğini artırmak ve maliyeti düşürmek amaçıyla birçok sektörde hızla benimsenmektedir. Günümüzde yapay zekanın tıpta kullanım amaı hekimlerin yerini almak değil, iş

akışını kolaylaştırmak, hastalıkların erken ve daha kolay tespit edilmesini sağlamak, tıbbi bakıma yardımcı olmaktır. Bu sayede yapay zeka; tıbbi hataların azalmasına, tıbbi maliyetlerin düşmesine, morbidite ve mortalitenin azalmasına yardımcı olmaktadır (103). En yaygın kullanılan yapay zeka teknolojileri arasında; uzman sistemler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, bulanık önermeler mantığı ve zeki etmenler sayılabilmektedir.

2.6. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin biyolojik öğrenme fonksiyonuna benzer şekilde önceki örnekler üzerinden olaylar arasındaki ilişkileri öğrenen ve daha sonra hiç görmediği örnekler için bu bilgileri kullanarak karar veren bilgisayar sistemleridir (104). Bir başka deyişle YSA, beynin temel işlemlerine bir yazılım aracılığıyla erişmeyi amaçlayan mantıksal bir programlama tekniğidir (105). 1988 yılında Kohonen yapay sinir ağlarını, ‘biyolojik sinir sistemlerinde olduğu gibi gerçek dünyanın nesnelere etkileşime girmeyi amaçlayan basit (genellikle uyarlanabilir) öğeler ve bunların hiyerarşik organizasyonlarından oluşan büyük ölçüde paralel birbirine bağlı ağlar’ olarak tanımlamıştır (106). Yapay sinir ağları, karmaşık doğrusal olmayan veri setlerini analiz edebilme yetenekleri nedeniyle özel ilgi çekmiştir (107). Yapay sinir ağlarındaki temel fikir, insan beyninin yaptığı gibi çok fazla veriyi alıp paralel olarak işleyebilmeleri ve doğru çıktı sağlayabilmeleridir. Sinir ağları, karmaşık veya kesin olmayan verilerden anlam çıkarma konusundaki olağanüstü yetenekleriyle, insanlar veya diğer bilgisayar teknikleri tarafından fark edilemeyecek kadar karmaşık eğilimleri tespit etmek amacıyla kullanılabilir. Eğitilmiş bir sinir ağı, analiz etmesi için verilen bilgi hakkında alanında bir uzman gibi düşünülebilmekte ve farklı durumlar için öngörüler sağlayabilmektedir (108).

2.6.1. Yapay sinir ağlarının tarihçesi

Daha önceki dönemlerde de çalışılmış olmakla birlikte günümüzdeki anlamıyla yapay sinir ağı kavramının temelleri McCulloch, Hebb, Pitts gibi araştırmacılar tarafından 1940 sonrası dönemde atılmıştır. Bu araştırmacılar, yapay sinir hücresi yapısını ve bu hücrelerin birbirleriyle bağlantılı çalışması gerektiğini bulmuşlardır. 1943 yılında McCulloch ve Pitts nörolojik ağ modellerini ana hatlarıyla oluşturmuşlardır (109-111). 1949'da Davranışın Organizasyonu adlı kitabında Donald Hebb, sinaptik ağırlıktaki değişikliklerin nöronların birbirini uyarımını nasıl kontrol ettiğini açıklayan "Hebbian Öğrenme Kuralını" geliştirmiştir (110). Böylece biyolojik öğrenme biçiminin bilgisayar ile gerçekleştirilebilecek şekilde geliştirilmesi sağlanmıştır (111). 1951 yılında Marvin Minsky doktora tezi için ağırlıklarını otomatik olarak hesaplayabilen ve ayarlayabilen ilk nörobilgisayar Snark'ı geliştirmiş fakat pratikte uygulanamamıştır (112). 1955-56 yılında Dartmouth Yaz Araştırma Projesi'nde bazı bilim adamları ve öğrenciler bir araya gelerek beynin nasıl simüle edileceğini ve yapay zeka kavramını tartışmışlardır (102). Perceptron olarak bilinen tek katmanlı algılayıcı model 1958 senesinde Rosenblatt tarafından geliştirilmiştir (113). Daha sonra 1960 yılında Widrow ve Hoff, Rosenblatt'ın modeli ile aynı özelliklere sahip ancak öğrenme algoritması daha gelişmiş olan ADALINE (ADaptive Llinear NEuron) modelini geliştirmiştir (111, 114). 1965 yılında Nilsson tarafından 'Öğrenen Makineler' ismiyle makine öğrenmesi hakkında ilk kitap yayınlanmıştır (115).

Marvin Minsky ve Seymour Papert'in 1969 yılında yapay sinir ağı algılayıcılarının doğrusal ayrılabilirlik ve XOR problemi gibi çoğu soruna çözüm üretemediği ve bu modelin çok fazla alanda kullanılamayacağını öne sürmeleri bu alandaki çalışmaların durma noktasına gelmesine sebep olmuştur (116). Yine de bazı araştırmacılar çalışmalarına devam etmiştir. Anderson ve Kohonen 1972 yılında 'çağrışimli bellek' ile ilgili araştırmalar yapmışlardır (117, 118). Paul Werbos 1974 yılında doktora tezi için "Geri yayılım modeli" denilen bir öğrenme modeli geliştirmiştir (119). Stephen Grossberg 1976-1980 arasında yapay sinir ağlarını matematiksel olarak incelemiş ve ayrıca Gail Carpenter ile birlikte Adaptif Rezonans

Teorisi'ni (ART) geliştirmiştir (120-123). 1979 yılında Fukushima geliştirmiş olduğu 'Neocognitron' adındaki nöral model hakkındaki araştırmasını yayınlamıştır. Bu model görsel Şekil ve örüntüleri tanıyabilme özelliğine sahiptir (124). 1982 yılında Kohonen haritaları olarak da bilinen kendi kendini organize eden özellik haritaları (SOM) Teuvo Kohonen tarafından geliştirilmiştir (125). 1983 yılında Fukushima, Miyake ve Ito, el yazısı karakterlerini tanıyabilen bir Neocognitron modelini tanıtmışlardır (126). Daha sonra Rummelhart ve arkadaşları çok katmanlı algılayıcıları bulmuşlardır (127-129). Bu gelişmeler, XOR problemi gibi doğrusal olmayan problemlerin çözümünde yapay sinir ağlarının kullanımını kolaylaştırmış ve aynı zamanda tıpta yaygın olarak karşılaşılanlar da dahil olmak üzere pratik problemlerin çözümünde yapay sinir ağlarının kullanımında artışa yol açmıştır (107). O dönemden beri her yıl bilimsel etkinlikler yapılarak yapay sinir ağı ile ilgili konular ve gelişmeler konuşulmaktadır. Artık bu modeller günlük yaşamda kullanılmaya başlanmıştır (111).

2.6.2. Yapay sinir ağlarının yapısı ve temel elemanları

Yapay sinir ağı modelleri, her bir nöronun diğer nöronlarla bağlantılı olduğu biyolojik sinir ağı ilkelerine benzer Şekilde çalışmaktadır (108). Yapay sinir ağlarının gelişimi, birçok basit hesaplama elemanını (nöronları) birbirine bağlı bir sistemde birleştirerek ve kendi kendine organizasyon veya öğrenme sonucunda "zeka" gibi karmaşık fenomenlerin ortaya çıkacağını umarak biyolojik sinir sistemlerini simüle etme girişiminden kaynaklanmıştır (130). Biyolojik sinir sistemlerinin anlaşılması, yapay sinir ağları kavramına ilham vermiştir (108). Beyin, nöron ağından oluşmaktadır. Biyolojik sistemde nöron yapısında alıcı olarak hareket eden dendritler ve bilgi aktarıcısı olarak hareket eden akson olmak üzere iki bölüm bulunmaktadır. Nöronun çekirdeği transfer edilecek bilgiyi içermektedir. Biyolojik bir nöronun işlevi, girdi eklemek ve bir çıktı üretmektir, bu durum ya uyarılma ya da inhibisyon ile sonuçlanabilmektedir. Çıktı, yalnızca iletilen sinyal yüksekse (yani önceden belirlenmiş bir değerden büyükse) sinaptik bağlantılar yoluyla sonraki nöronlara iletilmekte, aksi takdirde sinyal bir sonraki nörona iletilememektedir (107, 131).

Bu nedenle ağıdaki bir nöron, ağırlıklı toplamı denklem (x_i girişi ve w_i ağırlıkları dikkate alınarak) kullanarak hesaplamakta ve bunu bir eşik değeriyle karşılaştırmaktadır; toplam eşik değerinden büyükse, sinyal iletilmekte aksi takdirde, nöron açılmamakta ve akış durmaktadır:

$$I = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i,$$

Şekil 1. Bir nöronun ağırlıklı toplama işlemi

Burada: I ağırlıklar toplamı; w_i ağırlıktır; x_i ise girdidir (132).

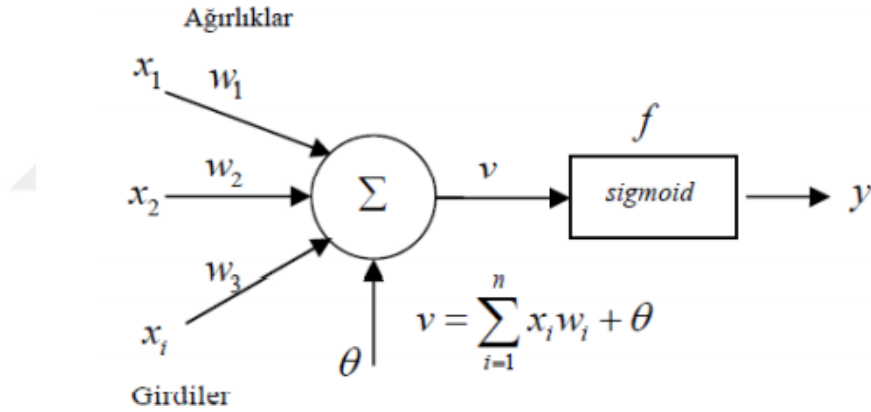
2.6.3. Yapay sinir hücresi (proses elemanı) ve yapay sinir ağlarının yapısı

Tıpkı biyolojik sinir sisteminde beynin içinde bulunan nöronların muazzam bir şekilde bağlantılı olması gibi, YSA da aynı anda belirli sorunları çözmek için çalışan çok sayıda birbirine bağlı işlem ögesinden oluşmaktadır (108). Diğer bir deyişle yapay sinir ağları da genellikle çok sayıda "nöron" dan, yani basit doğrusal veya doğrusal olmayan hesaplama öğelerinden oluşmakta, genellikle karmaşık şekillerde birbirine bağlanmakta ve katmanlar halinde düzenlenmektedirler (130). Yapay sinir ağları, bir girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanından oluşurken, bilgiler giriş katmanı aracılığıyla modele dahil edilmekte, gizli katmanlar aracılığıyla işlenmekte ve çıktı katmanından çıkarılmaktadır (131).

Bir yapay nöronunda; x_i ile ifade edilen girdiler, w_i ile ifade edilen ağırlıklar, toplama fonksiyonu (Σ), aktivasyon fonksiyonu (f) ve çıktı (y) olmak üzere 5 eleman mevcuttur. Yapay sinir hücresine dış dünyadan, başka hücrelerden veya kendisinden gelen bilgiler, girdiler olarak adlandırılmaktadır. Ağırlıklar, yapay nörona gelen bilginin önemini ve nörona etkisini gösteren değerlerdir. Toplama fonksiyonu, net girdiyi hesaplayan elemandır. Aktivasyon fonksiyonu ise nörona gelen net girdiyi

işleyerek nöronun girdiye karşı üreteceği ve yapay sinir hücresinin 5. elemanı olan çıktı değerini belirlemektedir (111). Belirli bir girdinin özel bir hedef çıktısı vermesi için çoğunlukla elemanlar arası bağlantı değerleri (ağırlıkları) düzenlenerek (adjust) sinir ağı eğitilmektedir (train) (133).

Biyolojik sinir ağlarında öğrenme, performans seviyelerini arttıran geçmiş deneyimlerden geçmektedir ve bu durum aynı zamanda yapay sinir ağı için de geçerlidir. Biyolojik sinir ağlarında öğrenme, sinaptik bağlantıların ayarlanmasını içermektedir. Benzer şekilde yapay sinir ağlarında öğrenme de ağırlıkların ayarlanmasıyla yapılmaktadır. Aslında yapay sinir ağındaki ağırlıklar, biyolojik sinir ağındaki sinapslara benzemektedir (108).



Şekil 2. Temel Yapay Sinir Ağı Hücresi: Yapay Nöron- Dizdar'dan (134) alınmıştır.

YSA hücresinin yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu yapay nöron; girdiler, ağırlıklar, eşik değeri, toplama fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu ve çıktı ile betimlenmektedir. Şekildeki x_1, x_2, \dots, x_i değerleri girdilerdir. Ağa alınan girdilerin birbirine kıyasla değer aralıkları farklı olduğundan girdilere normalizasyon süreci uygulanmaktadır. Literatürde, normalizasyon süreci $[0 \ 1]$ veya $[-1 \ +1]$ arasında seçilmektedir. Girişler normalize edildikten sonra, girdiler rastgele ağırlıklandırılarak

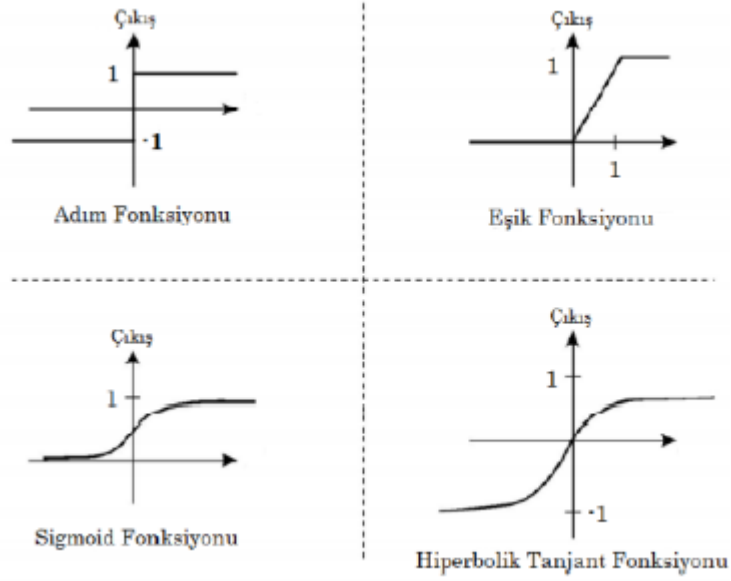
hücreye iletilmektedir. Ağırlıklar, w_1, w_2, \dots, w_n olarak tanımlanmaktadır. θ değeri ise eşik değerini ifade etmekte ve hücrenin ateşlemesini sağlamaktadır. Hücresel toplam işlemi Şekil 3'te gösterilmektedir.

$$v = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i + \theta$$

Şekil 3. YSA'da hücresel toplama işlemi

Hücresel toplam işlemi sonrası, çıkışın istenilen aralıkta olması için toplam işlemi aktivasyon fonksiyonundan geçirilmekte ve çıktı elde edilmektedir. Bu çıktı değeri, sistem için beklenen çıktı değeri ile kıyaslanarak hata değeri elde edilmektedir. Girdi katmanındaki nöronlar arasındaki bağlantılara öncelikle rastgele ağırlık değerleri atanmaktadır. Eğitim sürecinde her örnek ağa sunulduğunda hata değeri istenilen aralığa gelene kadar yapay sinir ağı hücresinin ağırlıkları değiştirilerek güncellenmektedir. Eğitim seti, sonucun zaten bilindiği çok sayıda vakadan oluşmaktadır. Eğitim setindeki örneklerin her biri için doğru çıktılar üretilinceye kadar bu işlem devam etmektedir. Bu işlemden sonra test setindeki örnekler ağa sunulmaktadır. Bu aşamada ağ, eğitim sürecinde belirlenen bağlantı ağırlıklarını kullanarak daha önce görmediği örnekler için çıktı üretmektedir. Eğitim tamamlandıktan sonra, ağ, eğitim verileriyle eşleşme bile her tür girdi için makul çıktılar sağlamaktadır. Bu durumda, eğitim yöntemine bağlı olarak en iyi çıktıyı belirlemeye çalışmaktadır. Ağın test setindeki örneklere doğru yanıtlar vermesi durumunda ağ eğitilmiş olarak kabul edilmektedir. Burada önemli hususlardan biri doğru aktivasyon fonksiyonunun seçimidir. Bu bağlamda, literatürde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları önerilmiştir. Bu süreç sonunda YSA modeli doğrusal olmayan problemlere çözüm üretebilecek yeteneğe sahip olmaktadır (104, 107, 108, 135)

Yapay sinir ağlarında sıklıkla kullanılan aktivasyon fonksiyonları Şekil 4'te sunulmaktadır.



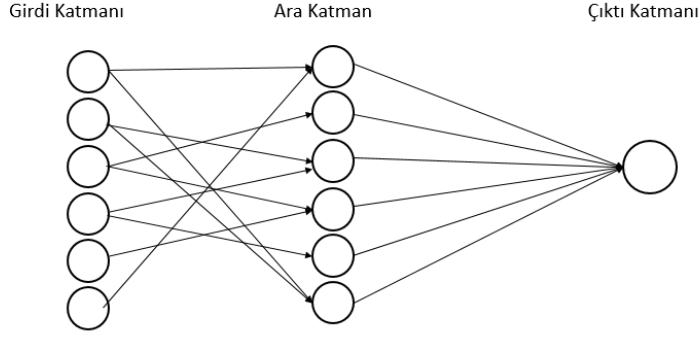
Şekil 4. Yapay Sinir Ağlarında En Çok Kullanılan Aktivasyon Fonksiyonları- Öztemel'den (136) alınmıştır.

Günümüzde, YSA modellerinde en yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonu sigmoid fonksiyondur.

$$y = f(v) = \frac{1}{1 + e^{-v}}$$

Şekil 5.Sigmoid fonksiyon

Örnek bir yapay sinir ağı yapısı Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 6. Yapay Sinir Ağı Yapısı

2.6.4. Öğrenme stratejileri

Öğrenme yeteneği, zekanın temel özelliğidir. Öğrenmenin kesin tanımını formülize etmek mümkün olmasa da, YSA bağlamındaki bir öğrenme süreci, bir ağı belirli bir görevi verimli bir şekilde yerine getirebilmesi için ağ mimarisini ve bağlantı ağırlıklarını güncelleme durumu olarak görülebilir. Ağıdaki ağırlıkları yinelemeli olarak güncelleyerek performans zamanla iyileştirilir. YSA'lar, insanlar tarafından belirlenen bir dizi kuralı takip etmek yerine, verilen temsili örnekler koleksiyonundan temel kuralları (girdi-çıkı ilişkileri gibi) öğreniyor gibi görünmektedir (137).

Denetimli öğrenme, denetimsiz öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme olmak üzere üç ana öğrenme paradigması bulunmaktadır (135).

Denetimli öğrenme (Öğretmenli Öğrenme/Supervised), yapay bir sinir ağının parametrelerini eğitim verilerinden belirleyen bir makine öğrenim tekniğidir (135). Bu öğrenme stratejisi ile oluşturulan modelde girdi değerlerinin yanı sıra onlara ait hedef çıktı değerleri sisteme sunularak aralarındaki ilişkinin öğrenilmesi amaçlanmaktadır (138). Burada öğrenmenin amacı, çıktı değerini gördükten sonra herhangi bir girdi değeri için parametrelerinin değerini ayarlamaktır. Eğitim veri seti tanımlanarak öğrenme gerçekleştirilmekte, ardından öğrenilen yapay sinir ağının performansı test

(doğrulama) veri seti ile test edilmektedir. Test veri seti, öğrenme sırasında yapay sinir ağına tanıtılmamış verilerden oluşmaktadır (135).

Denetimsiz öğrenme (Öğretmensiz Öğrenme/ Unsupervised) metodunda hedef değerler olmadan yalnızca girdi değerleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmakta ve ağı sunulan örneklerdeki benzer değerler ağına belirlendiği belli kriterlere göre gruplandırılmaktadır. Modele yeni sunulan girdi bu gruplardan hangisiyle ilişkili ise o grupta değerlendirilmektedir (138, 139). Aslında bu öğrenme metodunda verilerdeki temel yapı veya verilerdeki modeller arası korelasyonlar araştırılmakta ve bu korelasyonlara göre modeller kategoriler halinde düzenlenmektedir (137). Denetimsiz öğrenme çoğunlukla istatistiksel modelleme, sıkıştırma, filtreleme ve kümeleme gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Denetimsiz öğrenme algoritmalarının en yaygın kullanıldığı alanlardan biri kendi kendini organize eden haritalardır (135). ART ağları, bu öğrenme stratejisini kullanan ağlara örnek olarak verilmektedir (104).

Pekiştirmeli öğrenmede (Destekleyici Öğrenme/ Reinforcement) ise hedef çıktıyı vermek yerine girdiye karşılık sistemde üretilen çıktının doğru ya da yanlış olduğunu değerlendiren bir sinyal üretilmektedir. Bu öğrenme metodunu kullanan ağlardan biri de LVQ ağıdır (104). Robot kontrolü, telekomünikasyon ve satranç gibi oyunlar ve diğer sıralı karar verme görevleri dahil olmak üzere çeşitli sorunlarda bu strateji başarıyla uygulanmıştır (135).

2.6.5. Yapay sinir ağlarının özellikleri

Biyolojik sinir ağları ile yapay sinir ağları arasında benzerlikler olduğu gibi birçok farklılık da mevcuttur. Biyolojik sinir ağlarında bilgi işleme genellikle yavaştır; çünkü nöronlar bir uyarıcıya tepki verebilmek için birkaç milisaniyeye ihtiyaç duymaktadır. Yapay sinir ağlarında ise bilgi işleme birkaç nanosaniye gibi çok hızlı sürelerde olabilmektedir. Yine de beyin, hiçbir bilgisayarın henüz verimli bir şekilde çözemediği sorunları çözme yeteneğine sahiptir. Biyolojik sinir ağları, neredeyse sınırsız ara bağlantı yapabilen bileşenlerden üç boyutlu şekilde inşa edilmektedir. Yapay sinir ağları, ilkel yapay nöronların basit şekilde kümelenmesidir, bu durum

katmanlar halinde gerçekleşmektedir. Biyolojik sinir ağları, devasa nöronları birbirine bağlarken, yapay sinir ağları birkaç nöronu birbirine bağlamaktadır. Rastgele bağlantılar içeren biyolojik nöronlar arasında çok daha fazla sayıda bağlantı vardır. Ancak performans, biyolojik sinir ağlarında kısmi hasar durumunda düşme eğilimindeyken, yapay sinir ağları hataya dayanıklı olma potansiyeline sahiptir (108).

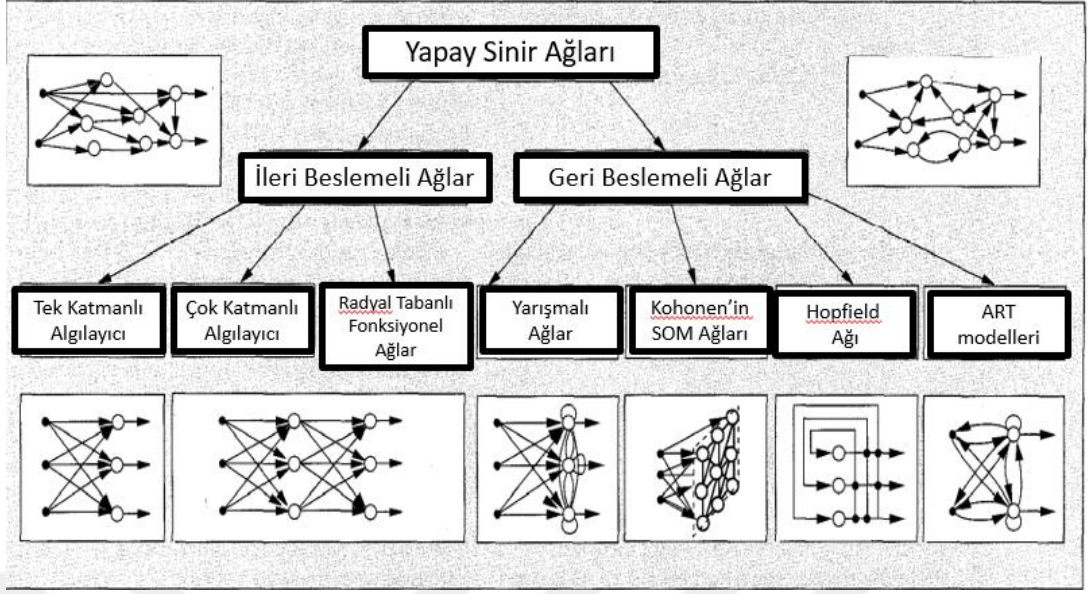
Yapay sinir ağlarının biyomedikal karar verme konusunda bazı avantajları vardır. Yapay sinir ağlarının ana elemanı olan hücreler ve bu hücrelerin birleşmesi ile oluşan yapay sinir ağlarının doğrusal olmaması sayesinde bağımsız ve bağımlı değişkenler arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri saptayabilmekte ayrıca bu değişkenler hakkında varsayımlarda bulunmadıkları için değişkenler arasındaki olası etkileşimleri doğru şekilde tespit edebilmektedirler. Yapay sinir ağları örüntüleri ilişkilendirebilmekte ve sınıflandırabilmekte, ilgilendiği problemi öğrendikten sonra genelleme yaparak karşılaşmadıkları örnekler için de bilgi üretebilmekte, performansı düşmeden eksik bilgi ile de çalışabilmekte, belirsiz bilgileri işleyebilmekte, ağa eksik bilgi içeren şekil ve örüntüler verilse bile örüntüleri tamamlayabilmektedirler. İyi eğitilmiş bir YSA'ya yanlış veri girişi, çoğu zaman yanlış bir tahmine yol açmamaktadır, çünkü çoğu çok değişkenli tekniğin aksine yapay sinir ağları birçok hücrenin bağlanmasından oluşmakta ve paralel dağılmış bir yapıdadır ayrıca bilgi, ağdaki tüm bağlantılara dağılmış şekilde bu bağlantılarda depolanmaktadır. Dolayısıyla yapay sinir ağları verileri paralel bir şekilde analiz etmekte ve bu sayede genelleme ve hata intoleransı özellikleriyle güçlü bir yapı elde edilmektedir. Aynı şekilde yapay sinir ağlarında bilgi ağdaki tüm bağlantılara dağılmış şekilde olduğundan bağlantılarının bir kısmının hatta hücrelerinin bazılarının bozulması veya çalışmaması durumunda ağ çalışmaya devam etmektedir. Tüm bu durumlar yapay sinir ağlarında belirli bir miktarda yanlış verinin kabul edilebilir olmasını sağlamak ve bozulma zarif (kademeli) bir şekilde olmaktadır. Ek olarak yapay sinir ağları, yanlış negatiflerin sayısını önemli ölçüde artırmadan yanlış pozitiflerin sayısını azaltabilmektedir. Bireysel vaka tahminine izin verebilmektedir (107, 111, 140-145). Yapay sinir ağları uyarlanabilir. Problemlerdeki değişimlere göre ağırlıklarını ayarlayabilmekte, tekrar eğitilebilmekte ve sürekli değişimler varsa eş zamanlı olarak da eğitime devam edilebilmektedir. Bu sayede; sistem tanılama, sinyal işleme ve denetim gibi alanlarda kullanılabilmektedir (140). Gerçek zamanlı çalışma ve

hesaplamaları paralel olarak yapılabilme kabiliyetlerine sahip olmaları sayesinde yapay sinir ağıları kullanılarak özel donanım cihazları tasarlanmakta ve üretilmektedir (108).

Yapay sinir ağlarının bazı dezavantajları da vardır. Olası nedensel ilişkileri belirlemek için sınırlı yeteneklere sahiptir. Veri sınıflandırması veya sonucu tahmin etmek için geleneksel regresyon istatistiksel modellerinden daha iyi olup olmadıklarına dair çelişkili kanıtlar vardır. Yapay sinir ağlarında problem için uygun ağ yapısı deneme yanılma yöntemi ile elde edilmektedir. Ayrıca elde edilen çözüm, o problem için en iyi çözüm anlamına gelmemektedir. Optimize etmek uzun zaman gerektirmektedir. Ağda bulunması gereken yapay hücrelerin sayısı veya katman sayısı gibi parametrelerin seçiminde bir kural yoktur. Uygulayıcının tecrübesi bu noktada önem arz etmektedir. Sadece numerik bilgilerle çalışabilmesi özelliği nedeniyle elde edilen verilerin numerik şekle dönüştürülmesi yine uygulayıcının becerisi ile ilişkilidir. Eğitim sürecinin bitiş zamanı hakkında herhangi bir yöntem yoktur. Hatanın belli bir değerin altında olması durumunda eğitim süreci bitirilmektedir. Ancak bu değerde durdurulması öğrenmenin optimum seviyede gerçekleşip gerçekleşmediğini göstermemektedir. YSA'nın gerektirdiği optimum örnek büyüklüğünü hesaplamak standart istatistiksel yöntemlerde olduğu gibi mümkün değildir. Çalışmaları donanım bağımlıdır. Hesaplama gereksinimleri nedeniyle sahada kullanımları daha zor olmaktadır (107, 111, 141, 143-145).

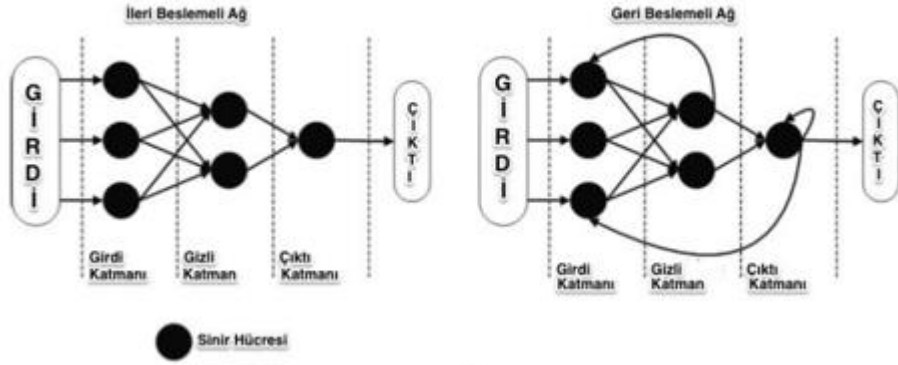
2.6.6. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması

YSA'lar topolojisine göre değişik şekillerde sınıflandırılabilir. İleri ve geri beslemeli ağ yapılarının sınıflandırılması Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. İleri ve Geri Beslemeli Ağ Yapılarının Sınıflandırılması- Jain'den (137) alınmıştır

Bir yapay sinir ağının ileri ve geri beslemeli topolojisi Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Bir Yapay Sinir Ağının İleri ve Geri Beslemeli Topolojisi- Krenker, Saatçioğlu'ndan (135, 146) alınmıştır.

İleri beslemeli yapay sinir ağları, bilginin yalnızca bir yönde, yani girdiden çıktı katmanına aktığı YSA'nın en basit şeklidir. Ağ, giriş katmanına herhangi bir geri bildirim sağlamamaktadır (131). İleri beslemeli ağlara örnek olarak tek katmanlı algılayıcılar, çok katmanlı algılayıcılar ve radyal tabanlı fonksiyon ağlar sayılabilmektedir.

2.6.7. Tek katmanlı algılayıcılar

Yapay sinir ağları ile ilgili araştırmalar tek katmanlı algılayıcılar ile başlamıştır. Yalnızca girdi ve çıktı katmanlarından oluşan bu ağ tipinde çıktı değeri; girdi değerlerinin ağırlıklar ile çarpılıp eşik değeri (Φ) ile toplanmasıyla hesaplanmaktadır. Eşik değerinin girdisi her zaman 1'dir. Öğrenme esnasında hem eşik değer ünitesinin hem de ağın ağırlıkları değiştirilmektedir. Çıktı fonksiyonu doğrusaldır ve 1 ya da -1 değerlerini (bazen 0 ve 1) almaktadır. Formülü: $\zeta = f(\sum w_i \cdot x_i + \Phi)$ şeklindedir (111).

İlk kez 1958 yılında Rosenblatt tarafından geliştirilen perceptron ve daha sonra geliştirilen ADALINE/MADALINE üniteleri bu tip yapay sinir ağlarına örnek verilebilir (113, 114). Şekil 9'da tek katmanlı algılayıcı modeli yapısı sunulmaktadır.



Şekil 9. Tek Katmanlı Algılayıcı Modeli- Öztemel'den (111) alınmıştır.

XOR probleminde çıktılar bir doğru ya da düzlemle 2 ya da daha fazla sınıfa ayrılamamaktadır ve bu nedenle doğrusal olmayan bir ilişki mevcuttur. XOR probleminde girişlerin aynı olması durumunda çıktı değeri 0 iken, girdiler birbirinden farklı olduğu durumda ise çıktı değeri 1 olmaktadır. Bu durumda veri kümeleri tek bir

doğru ile birbirinden ayırlamamakta dolayısıyla XOR problemi, doğrusal olarak sınıflara ayrılabilen bir problem olmamaktadır (111).

Girdi1	Girdi2	Çıktı
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Şekil 10. XOR problemi

Minsky ve arkadaşlarının tek katmanlı algılayıcıların XOR problemi gibi doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılamayacağını savunması araştırmacılar tarafından başka ağ tiplerinin geliştirilmesine neden olmuştur (107, 116). Yapılan çalışmalar sonucunda daha karmaşık doğrusal olmayan modelleri öğrenmek için en az üç nöron katmanına ihtiyaç duyulduğu gösterilmiştir (115).

2.6.8. Çok katmanlı algılayıcılar

Çok katmalı algılayıcılar 1986 yılında Rumelhart ve arkadaşları tarafından bulunmuştur ve 3 katmandan oluşmaktadırlar. Çok katmanlı algılayıcılarda, bilgiler girdi katmanı ile dış dünyadan alınmakta, gizli katmanda işlenmekte ve çıktı katmanında çıktı üretilmektedir (104, 129) . Aslında çok katmanlı algılayıcılar, girdi değerlerinin ağırlıklarla çarpılıp gizli katmana aktarıldığı ileri besleme ağlarından biridir (147, 148). Önceleri çok katmanlı bir algılayıcıda ağırlıkların nasıl ayarlanması gerektiği bilinmemekte idi. Rumelhart ve arkadaşları gizli katmanlara sahip algılayıcılar için gereken ağırlıkları belirlemek için "genelleştirilmiş delta kuralı"

önermiştir. "Geri yayılım algoritması" olarak bilinen bu algoritma, sinir ağı araştırmalarında önemli bir dönüm noktası olmuştur (149). Bu süreçte hem girdiler hem de çıktılar ağı sunulmaktadır ve bu şekilde girdilerin ağı verilerek çıktı üretilmesi işlemleri doğru hesaplama olarak adlandırılmaktadır. Daha sonra, eğitim sürecinde elde edilen çıktıları ile ağıdan beklenen çıktıları arasındaki fark (diğer bir deyişle hata) geriye doğru ağırlıklara dağıtılarak ağırlıklar değiştirilmekte ve böylece hata değeri minimuma getirilmeye çalışılmaktadır (104). Sonuç olarak çok katmanlı algılayıcıların ağırlıkları bulmak için kullandığı bu işleme geri yayılım algoritması denilmektedir. Ayrıca çok katmanlı algılayıcılar aktivasyon fonksiyonu olarak da sigmoidal fonksiyon veya eşik fonksiyonu kullanmaktadır (137).

Nihai ağı mimarisine dahil edilecek değişkenler genellikle, her bir girdi değişkenini girdi listesinden çıkararak ve sonuçta ortaya çıkan tahmini doğruluk kaybını belirleyerek test eden bir duyarlılık analizi yöntemi ile seçilmektedir. Nihai ağı mimarisinde yalnızca, bırakıldığında önemli bir doğruluk kaybına neden olan değişkenler korunmaktadır (141). Gizli katmanların sayısı ve gizli katmanlardaki nöronların sayısı, çoğunlukla denemelerle saptanmaktadır (107). Performansı değerlendirmek amacıyla eğitim sürecinin ardından ağı karşılaşmadığı örnekler sunularak yanıtlarına bakılmakta, doğru yanıtlar veriyorsa ağı öğrenmiş kabul edilmektedir (104). Çok katmanlı ileri beslemeli algılayıcılar, tıpta en yaygın kullanılan yapay sinir ağı türüdür (107).

2.6.9. Radyal tabanlı fonksiyon ağı (RBFNN)

Radyal tabanlı fonksiyon ağı, aktivasyon fonksiyonu olarak radyal tabanlı fonksiyonu kullanan ileri besleme ağı türlerinden biridir. Radyal tabanlı fonksiyon ağı mimarisi, iki katmanlı basit bir ağıdan oluşmaktadır (150, 151).

Geri beslemeli ağlarında (Geri bildirimli yapay sinir ağları /Tekrarlayan Yapay Sinir Ağları) ise, bilgi iki yönde hareket edebilmekte, böylece bilgileri giriş ve çıkış katmanları arasında aktarırken bir döngü oluşturmaktadır. Geri bildirim, her iki katman seviyesinde, yani gizli katmanda ve çıktı katmanında sağlanmaktadır. İşlenen bilgi optimum seviyeye ulaştığında süreç tamamlanmaktadır (131). Hopfield, Elman ve Jordan ağları da bu grupta yer almaktadır (135, 152).

2.6.10. YSA ve istatistiksel yöntemler

Sinir ağları ve istatistik arasında, kullanılan kavramlar ve işlemler açısından benzerlikler vardır ancak farklı terminolojiler kullanılmaktadır. Örneğin, istatistik biliminde model, bağımsız değişken, bağımlı değişken, tahmin değeri, artık kavramları yapay sinir ağı terminolojisinde sırasıyla ağ, girdi, hedef, çıktı, hata olarak ifade edilmektedir (130, 133). Bir yapay sinir ağı, bir değişkenin prognostik etkisi diğer prognostik değişkenlerden etkileniyorsa veya bir değişkenin prognostik etkisi zamanla değişiyorsa doğrusal olmayan ilişkilerde standart bir istatistiksel analizden daha üstün olabilmektedir (107). Yapay sinir ağı modelleri, lojistik regresyon modelleri gibi diğer modellerle mümkün olmayan, değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri tahmin edebilmektedir (131). Geri yayılım modeli, regresyon yönteminin sınırlamalarını ortadan kaldırmakta ve girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki eşlemeyi doğru bir şekilde kurmaktadır. Birden çok girdi kriterinin belirtilmesine ve beklenen çıktı önerilerinin oluşturulmasına izin vermektedir (153, 154). Yapay sinir ağları girdi verileri arasındaki belirgin olmayan ilişkileri tanımlayabilmekte ve bu ilişkileri doğruluğu düzenlemek için kullanabilmektedir. Bu sayede karmaşık veri kümelerinde bile örüntüleri tanımada önemli bir güce sahiptirler. Sinir ağı metodolojisinin tıptaki klinik ölçümler gibi girdi değişkenlerinin birbiriyle ilişkili olduğu çok değişkenli verilerin analizinde kullanımının klasik istatistiksel yöntemlerden daha iyi performans gösterebileceği ve daha doğru bir yöntem olabileceği düşünülmektedir (149). Ancak yine de aslında sinir ağları ve istatistiksel yöntemler, veri analizi için rakip metodolojiler değildir. İki alan arasında önemli bir örtüşme vardır. Sinir ağları, istatistiksel uygulamalar için yararlı olan çok katmanlı algılayıcılar gibi birkaç model içermektedir. İstatistiksel metodoloji; tahmin kriterleri, optimizasyon algoritmaları, güven aralıkları, teşhisler ve grafiksel yöntemler dahil olmak üzere çeşitli şekillerde sinir ağlarına doğrudan uygulanabilmektedir (130).

2.6.11. Yapay sinir ağlarının uygulama alanları

Yapay sinir ağı modelleri, bir veri kümesindeki doğrusal olmayan ilişkileri modelleme yetenekleri sayesinde tahmine dayalı modelleme alanında önem kazanmaktadır (131). Bu sayede YSA modelleri; endüstriyel, finansal, askeri ve savunma ve sağlık alanlarında veri ilişkilendirme, veri filtreleme, görüntü işleme, tanı, prognoz, sınıflandırma, tahmin, yorumlama ve sağ kalım analizleri için yaygın olarak kullanılmaktadır (104, 131). Güçlü öğrenme yeteneği ve genelleme kabiliyeti nedeniyle sinir ağları, özellikle tahmin için çok sayıda alanda kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, sinir ağlarının finansal sorunları tahmin etmede, karar destek sistemleri ve yönetim bilimi alanlarında başarıyla kullanıldığını keşfetmiştir (155). Günümüzde yapay sinir ağı modelleri sayesinde klinik teşhis (özellikle kanser), finans sektöründe dolandırıcılık tespiti ve hava tahminleri yapılabilmektedir (131).

Basitçe sınıflandırılacak olursa, yapay sinir ağı uygulamaları; sağlık alanında, finans sektöründe, endüstriyel faaliyetlerde, askeri faaliyetlerde ve savunma uygulamaları kullanıldığı alanlardan en önemlileridir (111).

2.6.12. Sağlık alanındaki uygulamalar:

YSA'nın biyomedikal bilimlerde kullanımına ilişkin literatür katlanarak artmaktadır (156). Klinik teşhis YSA'nın ilk uygulandığı alanlardan biridir. Miyokard enfarktüsünün teşhisi için YSA kullanımıyla ilgili ilk çalışma 1989'da yayınlanmıştır (157). Daha sonra yapılan prospektif çalışmalar, uygun şekilde eğitilmiş YSA'ların bu alandaki diğer bilgisayar programlarından daha iyi performans gösterebildiğini ve %95'in üzerinde sensitivite ve spesifite elde ettiğini göstermiştir (158).

Yapay sinir ağları çeşitli hastalıkların risk, teşhis ve prognoz tahmini, görüntü analizi, tıbbi görüntüleme ve radyolojik tanı, örüntü tanıma, kanser alt tiplerinin sınıflandırılması, ilaçlara karşı tümör duyarlılığının tahmin edilmesi, gen ekspresyon verilerinin analizini yapabilmektedir. Ayrıca patolojik örneklerin belirlenmesi,

laboratuvar verilerinin yorumlanması, epidemiyolojik verilerin değerlendirilmesi, çeşitli hastalıklar/cerrahi sonrası yoğun bakım süreleri ve psikiyatri servislerine kabul kararlarının tahmininde kullanılabilir (107, 141, 156, 159-163). Karın ağrısı ve apandisit, safra kanalı tutulumu, kas distrofisi, HIV, glokom, astım, multipl skleroz, sırt ağrısı, cilt bozuklukları, demans, temporal arterit, cinsel yolla bulaşan hastalıklar, pulmoner emboli, tüberküloz, ve psikiyatrik acil durumlar dahil olmak üzere çok sayıda hastalığın teşhisi ile ilgili YSA araştırmaları yapılmıştır (156, 164-175).

Sinir ağrı modelleri radyoloji, nükleer tıp, dermatoloji ve patoloji gibi alanlarda görüntülerin işlenmesinde kullanılmaktadır (176, 177). YSA'lar, ilk mamografi taramasında gözden kaçan meme kanserlerini tespit edebilmektedir (178). Ayrıca YSA'lar kardiyak taramalar, serebral perfüzyon taramaları, manyetik rezonans görüntüleme (MRI) ve pozitron emisyon tomografisi gibi daha karmaşık görüntüleme tekniklerine de uygulanmıştır (156). Yine YSA modelleri, elektroensefalografi (EEG) ve elektrokardiyografiden (EKG) gelen sinyalleri yorumlamak ve sınıflandırmak için uygulanmaktadır (179, 180).

Yapay sinir ağları transplant zamanlarının optimizasyonu, sinyal işleme, adli tıp uygulamaları, fetal kalp atımlarının izlenmesi, kanserli hücrelerin analizi, hastaları solunum desteğinden başarılı bir şekilde ayırmanın öngörülmesi, protez tasarımı, retina ve kornea modelleme gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır (111, 149, 181-183). Bir çalışmada yoğun bakım ünitelerindeki hastalar için sonuçları tahmin ederken, YSA'ların hem standart lojistik regresyon hem de daha karmaşık doğrusal olmayan istatistiksel korelasyon ve regresyon ağaçlarından daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir (184). YSA'ların çeşitli kanser türleri için tedaviden sonra sonuçları doğru bir şekilde tahmin etme yeteneği, daha agresif tedavi ve takip için hastaların seçimini kolaylaştırabilmektedir (107).

2.6.13. Finans sektöründeki faaliyetler

Döviz kuru tahminleri, borsa dalgalanmaları ve emtia ticareti tahmini için bir karar destek rolü, risk analizleri, endeks tahminleri, ekonomik tahminler, kredi kartı

sahtekarlıklarının saptanması, dolandırıcılık tespiti gibi durumlarda yapay sinir ağıları kullanılmaktadır (111, 141, 185).

2.6.14. Endüstriyel faaliyetler

Müşteri doyumu ile ilgili verilerin analizi, planlama, üretim ve kontrol süreçlerinde optimizasyon, kalite kontrolü, pazar verilerinin analizi, araçlarda otomatik kılavuz sistemlerin ve telefonlarda sesle aktifleşme özelliğinin geliştirilmesi, işlerin makinelere devredilmesi ve daha bir çok uygulamada yapay sinir ağılarından faydalanılmaktadır (111).

2.6.15. Askeri ve savunma uygulamaları

Askeri uçakların rotalarının optimizasyonu, otomatik hedef tanıma ve izleme sistemleri, mayın dedektörleri, radar ve görüntü sinyalleri işleme, gürültü önleme gibi uygulamalarda da yapay sinir ağılarından yararlanılmaktadır (111, 141, 181, 185).

2.6.16. Diğer uygulama alanları

Veri madenciliği, gaz ve petrol aramaları, insana benzer eylemlerde bulunabilen oyuncaklar geliştirilmesi, proje maliyetlerinin tahmini, imza ve el yazısının tespiti, araç rotalama sistemleri ve daha birçok uygulama günümüzde yapay sinir ağıları sayesinde yapılabilmektedir (111). Yapay sinir ağıları cihazların veya sistemlerin çalışma şeklini öğrenerek herhangi bir arıza durumunda bu arızayı tanımlayabilmektedirler. Bu sayede uçakların, elektrikli makinaların arıza analizlerinde kullanılabilmektedirler. Yapay sinir ağı ile otomatik bilgi sunma, gerçek zamanlı çeviri, görüntü ve veri sıkıştırma gibi uygulama örnekleri mevcuttur (181). Ayrıca; resim işleme, ses, yazı ve yüz tanıma sistemlerinde yapay sinir ağılarının

kullanımı ile bu sistemlerin havaalanlarında, ATM'lerde, güvenlik kamera noktalarında kullanılabilmesi sağlanmaktadır (140).

2.6.17. Yapay sinir ağlarının pnömokonyoz ile ilgili araştırmalarda kullanımı

Pnömokonyozun radyolojik olarak tanısında ve sınıflandırılmasında radyologlara yardımcı olmak amacıyla yapay sinir ağları kullanılarak yapılmış birçok araştırma mevcuttur (10-15). Radyolojik sınıflandırma çalışmalarının yanı sıra pnömokonyoz gelişme riskini tahmin etmeye yönelik modelleme çalışmalarını da yapılmıştır. Kuzeydoğu Çin'de Tiefert Madeni'nde 2009 yılında yapılan retrospektif bir araştırmada madencilerdeki kömür işçisi pnömokonyozu riskini tahmin etmek için mesleki geçmişlerine dayanan yapay bir sinir ağı modeli oluşturulmuştur (16). Daha sonra 2020 yılında araştırmacılar modele toz konsantrasyonları ve serbest silika içeriği gibi parametreleri de ekleyerek modeli geliştirmişlerdir (5). Yine Çin'de bu kez 2013 yılında işçilerin tıbbi kayıtları kullanılarak yapılan başka bir retrospektif araştırmada da yapay sinir ağları ve yaşam tablosu yöntemi kullanılarak kömür işçisi pnömokonyozu risklerinin belirlenmesi ve tahmini amaçlanmıştır (1). Benzer şekilde 2013 yılında kömür işçisi pnömokonyoz yaşının ve etkileyen faktörlerin tahmininde de yapay sinir ağlarının kullanılabilceğini gösteren başka bir çalışma yapılmıştır (2). Yine 2013 yılında kömür işçilerinde pnömokonyoz insidansının tahmininde yapay sinir ağları kullanılması ile ilgili başka bir çalışma daha yayınlanmıştır (6). Başka sektörlerde çalışan işçilerde de pnömokonyozu yapay sinir ağları kullanarak araştıran çalışmalar mevcuttur. 2010 yılında metalürji endüstrisinde çalışan işçilerde pnömokonyoz prevalansı ile ilgili yapay sinir ağı araştırması yayınlanmıştır (186).

Kömür madencilikinin önemli bir iş kolu olduğu ve dolayısıyla kömür işçisi pnömokonyozunun sıklıkla gözlemlendiği ülkemizde ise henüz pnömokonyoz gelişme riskinin tahmininde kullanılmak üzere yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilmiş bir metodolojik araştırma literatürde bulunmamaktadır. Bu araştırma, yapay sinir ağları

kullanılarak kömür işçilerinde pnömokonyoz risklerini öngörebilen bir model oluşturmayı amaçlamaktadır.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Araştırmanın Tipi

Bu araştırma pnömokonyoz gelişme riskini öngörebilecek YSA tabanlı bir model geliştirilmesini hedefleyen metodolojik tipte bir araştırmadır.

3.2. Araştırmanın Yapıldığı Yer

Araştırma, 15.03.2020 tarihinde Türkiye Taş Kömürü Kurumuna bağlı toplam 6 müessesede çalışmakta olan işçilerin sağlık verileri kullanılarak yapılmıştır. TTK'ye bağlı bu müesseseler Genel müdürlük, Armutçuk, Amasra, Üzülmez, Karadon ve Kozlu Müesseseleri'dir.

3.3. Araştırma Zaman Çizelgesi

Tez konusu seçimi ve araştırmanın planlanması 01/01/2019 tarihinde tamamlanmıştır.

Literatür taranması 01/01/2019-21/10/2019 tarihleri arasında yapılmıştır.

Tez Etik Kurul Başvurusu ve izin alınması 21/10/2019 tarihinde yapılmıştır (EK 2).

Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Yönetim Kurulu tarafından tez konusu ve tez danışmanının belirlenmesi konulu karar 27/11/2019 tarihinde onaylanmıştır.

Tez verileri için Türkiye Taş Kömürü Kurumu Genel Müdürlüğünden 27/12/2019 tarihinde izin alınmıştır (EK 3).

Veriler 27/12/2019- 15/03/2020 tarihleri arasında toplanmıştır.

Verilerin düzenlenmesi ve analizi 15/03/2020- 15/11/2020 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir.

Tez yazım süreci 15/11/2020- 03/08/2021 tarihleri arasında tamamlanmıştır.

Tez teslim tarihi 03/05/2021'dir.

Tez savunması 28/05/2021 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

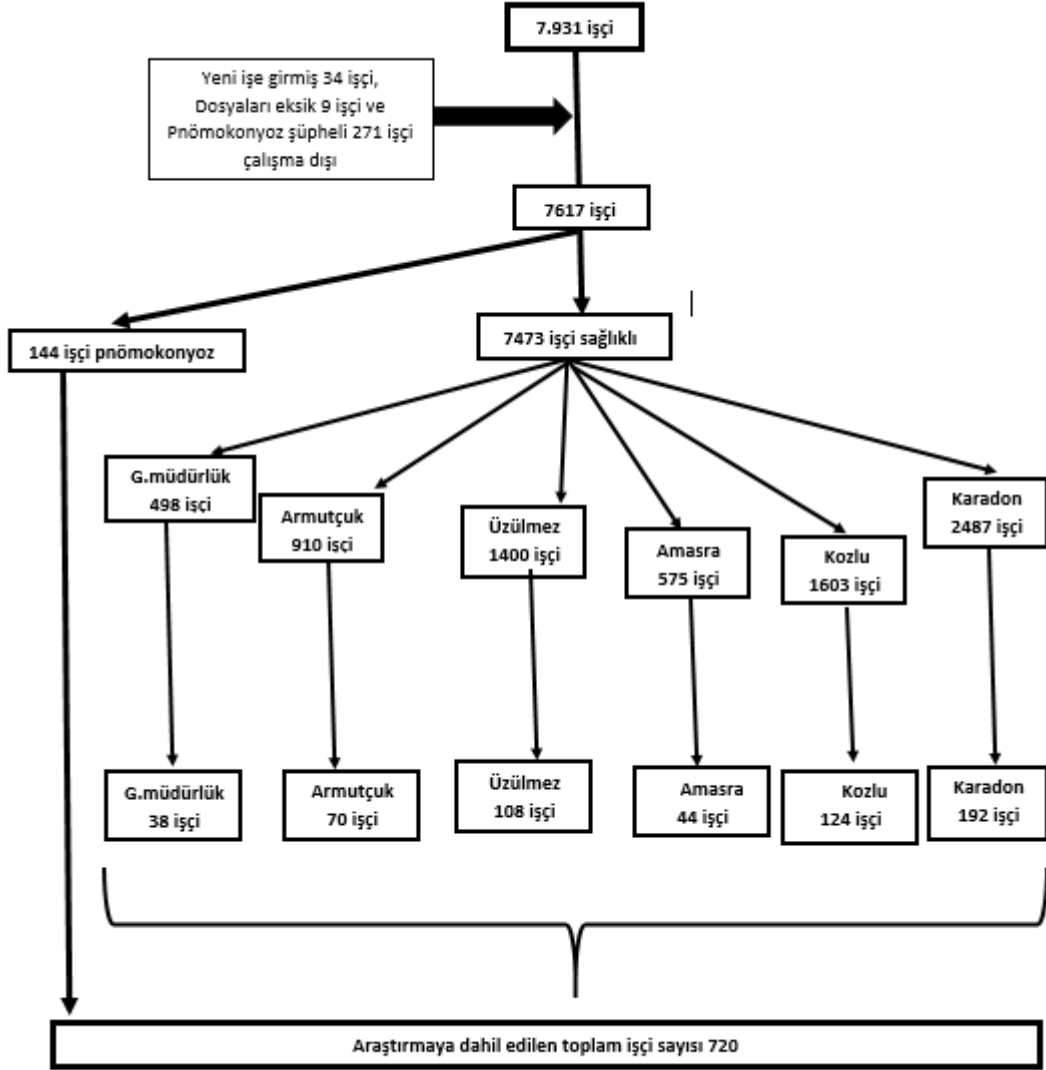
3.4. Araştırma Evreni ve Örneklem Seçimi

15.03.2020 tarihi itibarıyla TTK'deki toplam 6 müessesede çalışmakta olan 7.931 işçinin sağlık dosyalarına ulaşılmıştır. 34 işçi, iş başlangıcı yeni yapılmış ancak henüz çalışmaya başlamamış olmalarından dolayı çalışma dışı bırakılmıştır. 9 işçinin dosyalarında eksik veriler olması nedeniyle çalışma dışı bırakılmıştır. Periyodik taramalar sırasında pnömokonyoz şüpheli olarak tanımlanmış ancak pnömokonyoz tanı süreci devam eden 271 işçi çalışma dışı bırakılmıştır. Toplam 7617 işçi çalışmaya dahil edilmiştir.

Çalışmaya dahil edilen 7617 işçi arasından 144 işçinin pnömokonyoz tanısı mevcuttur. 144 pnömokonyoz olgusu çalışmaya dahil edilmiş olup pnömokonyoz olan kişilere karşılık 1:4 oranında pnömokonyoz tanısı olmayan 7473 işçi içerisinden müesseselere göre sistematik tabakalı örnekleme yöntemiyle örneklem seçilmiştir. Genel müdürlük'te çalışmakta olan 498 kişi olup 38 kişi örnekleme dahil edilmiştir. Armutçuk müessesesinde 910 kişi olup 70 kişi örnekleme dahil edilmiştir. Amasra müessesesinde 575 kişi olup 44 kişi örnekleme dahil edilmiştir. Üzülmaz müessesesinde 1400 kişi olup 108 kişi örnekleme dahil edilmiştir. Karadon müessesesinde 2487 kişi olup 192 kişi örnekleme dahil edilmiştir. Kozlu müessesesinde ise 1603 kişi olup 124 kişi örnekleme dahil edilmiştir. Araştırmada,

144 pnömokonyoz tanısı olan ve 576 pnömokonyoz olmayan toplam 720 kişinin verileri yapay sinir ağı modeli oluşturmak amacıyla kullanılmıştır

3.5. Araştırma Katılım Şeması



Şekil 11. Araştırma Katılım Şeması

3.6. Araştırma Uygulama Aşamaları, Veri Toplama Araçları ve Veri Toplama Yöntemi

Araştırmacı tarafından literatür taranarak işçilerin sosyodemografik özellikleri, kronik hastalıkları, sigara kullanma durumu, işe başlama yaşı, işe başlama yılı, çalışma süresi, yer altı gün sayısı, yer üstü gün sayısı, daha önce çalıştıkları iş kolları, çalışılan bölüm gibi pnömokonyoz riskiyle ilişkili olabilecek bilgileri içeren veri toplama formları hazırlanmıştır (EK 1). Hazırlanmış olan veri toplama formları, 15.03.2020 tarihinde TTK müesseselerinde çalışmakta olan işçilerin mevcut sağlık dosyaları taranarak doldurulmuştur.

3.7. Araştırmanın Değişkenleri

3.7.1. Girdiler

- Yaş
- İlk Toz Maruziyet Yaşı
- Yer altı Gün Sayısı
- Toplam Gün Sayısı
- İşe Giriş Yılı
- Mesleki Kategori
- 1.grup işlerde çalışma süresi
- Sigara Kullanım Durumu
- Kurumda çalışma yılı (günümüzden işe giriş yılı çıkartılarak elde edilen değer),
- Eğitim düzeyi (ilkokul, ortaokul, lise, ön lisans ve lisans/yüksek lisans olmak üzere 5 kategori)
- Medeni durum (evli, bekar, dul, bilinmiyor olmak üzere 4 kategori)
- Kronik Hastalık varlığı (var/yok)

-Solunum sistemi hastalığı varlığı (var/yok)

3.7.2. Çıktılar

-Pnömkonyoz Olma Durumu

-Pnömkonyoz Açısından Sağlıklı Olma Durumu

3.8.Araştırmanın Değişkenlerine Ait Tanım ve Ölçütler

3.8.1. Sanat dallarının sınıflandırılması:

Sanat dalları, 1 Halk sağlığı uzmanı, 2 Halk sağlığı öğretim üyesi ile TTK'de hali hazırda çalışmakta olan 2 işyeri hekiminin uzman görüşleri alınarak toz maruziyetine göre kömür işçisi pnömokonyozuna yol açma riski seviyelerine göre 4 gruba ayrıldı. (Bazı sanat dalları hem yer altı hem yer üstü iş gruplarına dahil edilmiş olup her işçi çalıştığı yere göre gruplandırılmıştır.)

Bu gruplandırmaya göre;

1.grup işler: Yer altında pnömokonyoz açısından çok tehlikeli ortamda, özellikle üretim bölümünde çalışan ve yoğun toz maruziyeti olan sanat dalları

2.Grup işler: Yer altında pnömokonyoz açısından tehlikeli ortamda çalışan ancak kömür üretim işlerinde çalışmayan sanat dalları

3.Grup işler: Yer altında pnömokonyoz açısından az tehlikeli ortamda çalışanlar/ bazı durumlarda yer altına inenler veya daha kısa süreli toz maruziyeti olanlar

4.Grup işler: Yer üstü işler

1.grup işler

Pano-ayak üretim işçisi

Postabaşı (pano ayak nezaretçisi)

Hazırlık işçisi

Baş madenci/Ast madenci/Madenci

Maden nezaretçisi

2.grup işler:

Barutçuluk

Tarama ve söküm işçisi

Sondaj işçisi

3.grup işler:

Nezaretçilik

Elektrik işçisi

Vardiya teknikeri/Vardiya mühendisi

Yer altı elektromekanik nezaretçisi

Mekanizasyon ve pres işçisi

Kuyu bakım işçisi

Nakliyat İşçisi

Tulumba İşçisi

Numuneci

İşyeri sağlık görevlisi

Bakım onarım işçisi

Çevre ve hizmet işçiliği/ İşyeri hizmet işçisi

4.grup işler-yer üstü işler

Demircilik-Presçilik

Çevre ve hizmet işçiliği/ İşyeri hizmet işçisi

Yağcılık(gemi)

Tornacılık

Deniz motor mak.

Dökümcülük

Kompresör-Cihaz kullanım bakım tamir işleri / Kompresör ve ana pervane işçisi

Kalite kontrol malzeme işçisi

Lokomotif makinisti

İş makinaları operatörü

Kuyu vinç işçisi

Demiryolu işçiliği

Tamircilik (motor/lamba) / Boru kazan tamir işçisi

Kaynakçılık—nadiren yer altı

İstasyon şefi (hareket)

Lavuar işçiliği

Yükleme kulesi operatörü

Ağaç işleri işçisi

Gardröfren

Sinyal işçisi

Direk ölçücülüğü

Matkapçılık

Dalgıçlık

Topoğraf- lüzum halinde

Motor lokomotif tamircisi

Revizör

Gemi yağcılığı

Yüzer vinç operatörü

Kancacılık

Planyacılık

Gemici

Liman kaptanı/Kıyı kaptanı

Laboratuvar işçiliği/Laborantlık

Teknik ressamlık

Bilgi işlem/Bilgi kayıt/ Büro işleri görevlisi

Aşçılık

Şoförlük

Röntgen işçisi

İşçilik (sosyal bakım)

İş etüdcülüğü

Talaşlı imalat işçisi

3.8.2. Sanat dalı gruplarına göre mesleki kategorilendirme

Üretim grubu: Kömür üretiminin yapıldığı en riskli bölgelerde 1.grup sanat dallarından herhangi birinde 3 yıl ve daha uzun süre çalışanlar

Kombine Grup: Toplamda 1 yıl ve daha uzun süre çalışmış olmak kaydıyla

-1. grup işlerde 3 yıldan kısa süre çalışmanın yanı sıra diğer işlerde çalışanlar

veya

-Sadece 2. grup işlerde çalışanlar

veya

- 2. grup işlerle birlikte 3. veya 4. grup işlerde çalışanlar

Yardımcı Grup: 1 yıl ve daha uzun süre sadece 3. grup işleri yapanlar veya 3. grup işlerin yanı sıra 4. grup işleri yapanlar

Yer üstü Grubu: 1 yıl ve daha uzun süre sadece yer üstü işlerde çalışanlar

Kısa Süreli Çalışanlar: Toplamda 1 yıldan kısa süredir herhangi bir işte çalışanlar

3.9. Verilerin Değerlendirilmesi

3.9.1. İstatistiksel değerlendirme

İstatistiksel değerlendirme SPSS 19.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) paket programı kullanılarak yapılmıştır. Sayısal değişkenlerin normal dağılıma uygunlukları Shapiro-Wilk testi ile incelenmiştir. Dağılımların normal dağılıma uymadığı tespit edilmiştir. Sayısal değişkenler için tanımlayıcı istatistikler aritmetik ortalama±standart sapma ve ortanca (minimum-maksimum), kategorik yapıdaki veriler için sayı ve yüzde olarak ifade edilmiştir. Kategorik yapıdaki değişkenler bakımından gruplar arasındaki farklılıklar Ki-kare testi ile incelenmiştir. Sayısal değişkenler bakımından grupların karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testi ve Kruskal Wallis Varyans analizi kullanılmıştır ve $p<0.05$ değeri anlamlı kabul edilmiştir.

3.9.2. Yapay sinir ağı tasarımı

Kömür işçilerinde pnömokonyoz riskini öngörebilmek amacıyla; başlangıçta yaş, işe giriş yılı, mesleki kategori, yer altında çalışılan gün sayısı, toplam çalışılan gün sayısı, 1.grup işlerde çalışılan gün sayısı ve sigara kullanım durumu, kurumda çalışma yılı, ilk toz maruziyet yaşı, eğitim düzeyi, medeni durum, kronik hastalık varlığı, solunum sistemi hastalığı varlığı gibi değişkenler girdi nöronu olarak denenerek başarımlar oranı en yüksek model elde edilmeye çalışılmıştır. Girdi nöron sayısı ve hangi girdi değişkenlerinin modelde kullanılacağı her bir girdi modele eklenip çıkartılarak yapılan denemeler sonucunda belirlenmiştir.

Denemeler sonunda 7 nörona sahip bir giriş, 1 ara katman ve 2 nörona sahip bir çıkıştan oluşan üç katmanlı yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Giriş katmanı nöronları; yaş, işe giriş yılı, mesleki kategori, yer altında çalışılan gün sayısı, toplam çalışılan gün sayısı, 1.grup işlerde çalışılan gün sayısı ve sigara kullanım verilerini içerirken, çıktı katmanı nöronları ise; pnömokonyoz olma durumu ve pnömokonyoz açısından sağlıklı olma durumu verilerini içermektedir. Kurumda çalışma yılı, ilk toz maruziyet yaşı, eğitim düzeyi, medeni durum, kronik hastalık varlığı, solunum sistemi hastalığı varlığı gibi değişkenler ise modelin başarımlar oranını düşürmesi nedeniyle modele dahil edilmemiştir.

İlk olarak 720 örneği (kömür işçisi) içeren veri seti, rastgele eğitim için %80, doğrulama için %10 ve test için %10 oranında bölünerek hazırlanmıştır. Veri uzayında, eğitim seti 576 örnek, doğrulama seti 72 örnek ve test seti ise 72 örnekten oluşmaktadır.

İkinci aşama YSA tasarımının ara katman sayısının belirlenmesidir. Ara katman sayısı belirlenmesi sürecinde Belirleme Katsayısı (R^2) değerlendirme kriteri olarak kullanılmıştır. Bu süreçte, ara katman nöron sayısını 1'den 50'ye kadar artırılmış ve elde edilen tüm ağ yapıları için 100'er deneme yapıldığında 33 ara katman nöronlu ağ tasarımının en iyi sınıflandırma performansına sahip olduğu görülmüştür. Yapılan simülasyonlar sonucunda, ağ modeli 7-33-2 mimarisine sahip olacak şekilde

belirlenmiştir. Tasarlanan ağ mimarisi (7-33-2) 1000 deneme yapılarak eğitilip test edilmiş ve en iyi performansa sahip model elde edilmiştir.

3.9.3. Nöral ağ analizi

Nöral ağ analizi MATLAB bilgisayar programının R2018b sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı analizlerinde Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nın desteği alınmıştır.

3.10. Araştırmanın Kısıtlılıkları

Bu araştırmada işçilerin çalıştıkları ortamlara ait toz konsantrasyonlarına ulaşılammış ve değerlendirmeye alınmamıştır. Literatürde pnömokonyoz gelişimini etkileyen önemli faktörlerden biri olan toz konsantrasyonlarının değerlendirilememiş olması araştırmanın kısıtlılığı olarak kabul edilebilir.

3.11. Etik Konular

Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 21/10/2019 tarihinde 33479383/46 sayılı kararla araştırma için gerekli etik kurul izni alınmıştır (EK 2). Araştırma için Türkiye Taş Kömürü Kurumundan işçilerin sağlık dosyaları ve TTK Sağlık Bilgi Sistemi üzerinden sağlık verilerine ulaşmak üzere 27/12/2019 tarihinde E.169717 sayılı kararla resmi yazılı onay alınmıştır (Ek3). Araştırma sırasında işçilerin kimlik bilgileri toplanmamıştır.

4. BULGULAR

Bu araştırmada %20'si (n=144) kömür işçisi pnömokonyozu tanısına sahip toplam 720 kömür işçisi incelenmiştir. Yaş ortalaması 37,1±6,9, ortancası 38'dir (min:19-max:58). İlk toz maruziyet yaşı ortalaması 25,9±3,8, ortancası 26'dır (min:14-max:44). İşçilerin %36,9'u (n=266) ilkokul, %14,9'u (n=107) ortaokul, %40,6'sı (n=292) lise, %5,7'si (n=41) ön lisans, %1,9'u (n=14) lisans veya lisan üstü eğitim durumuna sahiptir. İşçilerin %78,6'sı (n=566) evli, %20,7'si (n=149) bekar, %0,4'ü (n=3) duldur ve %0,3'ünün (n=2) ise medeni durumu bilinmemektedir. %12,6'sının (n=91) kronik hastalığı mevcuttur. %1,3'ünün (n=9) solunum sistemi ile ilgili pnömokonyoz dışında bir hastalığı mevcuttur. Yer altında çalıştıkları gün sayısı ortalaması 2959,7±2196,5, ortancası 3300 (0-11338) gündür. Toplam çalıştıkları gün sayısı ortalaması 3850,5±2489,3, ortancası 3652 (11-13661) gündür. İşçilerin %68,1'i (n=490) daha önce sigara kullanmış veya halen kullanmaktadır, %31,9'u (n=230) ise hiç sigara kullanmamıştır. Mesleki kategorilere bakıldığında; işçilerin %63,1 (n=454) üretim işleri grubunda, %5,6 (n=40) kombine grupta, %10,0 (n=72) yardımcı grupta, %6,9 (n=50) yer üstü grubunda, %14,4'ü (n=104) 1 yıldan kısa süre çalışanlar grubundadır. İşçilerin %81,3'ü (n=585) 1.grup işlerde çalışmıştır. Tüm işçilerin 1.grup işlerde çalışma yılı ortalaması 5,5±4,9, ortancası (0-22) yıldır. İşçilerin %93,6'sı 2000 yılında veya sonrasında işe girmiştir.

Pnömokonyoz olmayan işçilerin yaş ortalaması 36,2±7,1'dir (19-58). İlk toz maruziyet yaşı ortalaması 25,9±14,2'dir (14-44) . İşçilerin %35,4'ü (n=204) ilkokul, %12,3'ü (n=71) ortaokul, %43,2'si (n=249) lise, %6,8'i (n=39) ön lisans, %2,3'ü (n=13) lisans veya lisan üstü eğitim durumuna sahiptir. İşçilerin %75,3'ü (n=434) evli, %23,8'i'si (n=137) bekar, %0,5'i (n=3) duldur ve %0,3'ünün (n=2) ise medeni durumu ile ilgili bilgi yoktur. %11,5'inin (n=66) kronik hastalığı mevcuttur. %0,9'unun (n=5) solunum sistemi ile ilgili pnömokonyoz dışında bir hastalığı mevcuttur. Yer altında çalıştıkları gün sayısı ortalaması 2604,7±2141,9 (0-10627) gündür. Toplam çalıştıkları gün sayısı ortalaması 3505,5±2535,0 (11-13661) gündür. İşçilerin %66,1(n=381)'i daha önce sigara kullanmış veya halen kullanmaktadır, %33,9'u (n=195) ise hiç sigara kullanmamıştır. Mesleki kategorilere bakıldığında; işçilerin %56,9'u (n=328) üretim

işleri grubunda, %5,4'ü (n=31) kombine grupta, %10,9'u (n=63) yardımcı grupta, %8,7'si (n=50) yer üstü grubunda, %18,1'i (n=104) 1 yıldan kısa süre çalışanlar grubundadır. İşçilerin %78,8'i (n=454) 1.grup işlerde çalışmıştır. İşçilerin 1.grup işlerde çalışma yılı ortalaması $5,2 \pm 5,1$ (0-22) yıldır.

Pnömonyoz olan işçilerin yaş ortalaması $40,7 \pm 4,7$ 'dir (32-57). İlk toz maruziyet yaşı ortalaması $25,9 \pm 2,9$ 'dur (14-32). İşçilerin %43,1'i (n=62) ilkokul, %25,0'ı (n=36) ortaokul, %29,9'u (n=43) lise, %1,4'ü (n=2) ön lisans, %0,7 (n=1) lisans veya lisan üstü eğitim durumuna sahiptir. İşçilerin %91,7'si (n=132) evli, %8,3'ü (n=12) bekar. %17,4'ünün (n=25) kronik hastalığı mevcuttur. %2,8'inin (n=4) solunum sistemi ile ilgili pnömonyoz dışında bir hastalığı mevcuttur. Yer altında çalıştıkları gün sayısı ortalaması $4380,0 \pm 1808,8$ (248-11338) gündür. Toplam çalıştıkları gün sayısı ortalaması $5041,3 \pm 1879,7$ (2325-11338) gündür. İşçilerin %75,7'si (n=109) daha önce sigara kullanmış veya halen kullanmaktadır, %24,3'ü (n=35) ise hiç sigara kullanmamıştır. Mesleki kategorilere bakıldığında; işçilerin %87,5'i (n=126) üretim işleri grubunda, %6,3'ü (n=9) kombine grupta, %6,3'ü (n=9) yardımcı grupta çalışmış olup yer üstü grubunda veya 1 yıldan kısa süre çalışanlar grubunda olup pnömonyoz olan hiç işçi bulunmamaktadır. İşçilerin %91,0'ı (n=131) 1.grup işlerde çalışmıştır. 1.grup işlerde çalışma yılı ortalaması ise $6,6 \pm 4,3$ (0-20 yıl) yıldır.

Pnömonyoz olan ve olmayanların yaş ve çalışma öyküsü açısından karşılaştırması Tablo 1'de, pnömonyoz olan ve olmayanların sosyodemografik özellikler ve çalışma öyküsü açısından karşılaştırması ise Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Pnömkonyoz olan ve olmayanların yaş ve çalışma öyküsü açısından karşılaştırması

	Pnömkonyoz Olan (n=144) Ortalama±St.Sapma (min-maks)	Pnömkonyoz Olmayan (n=576) Ortalama±St.Sapma (min-maks)	Toplam (n=720) Ortalama±St.Sapma (min-maks)	p
Yaş	40,7±4,7 (32-57)	36,2±7,1 (19-58)	37,1±6,9 (19-58)	<0,001
İlk Toz Maruziyet Yaşı	25,9±2,9 (14-32)	25,9±14,2 (14-44)	25,9±3,8 (14-44)	0,933
Yer altı Gün sayısı	4380,0±1808,8 (248-11338)	2604,7±2141,9 (0-10627)	2959,7±2196,5 (0-11338)	<0,001
Toplam Gün Sayısı	5041,3±1879,7 (2325-11338)	3505,5±2535,0 (11-13661)	3850,5±2489,3 (11-13661)	<0,001
1.Grup İşlerde Çalışma yılı	6,6 ± 4,3 (0-20)	5,2±5,1 (0-22)	5,5±4,9 (0-22)	0,002

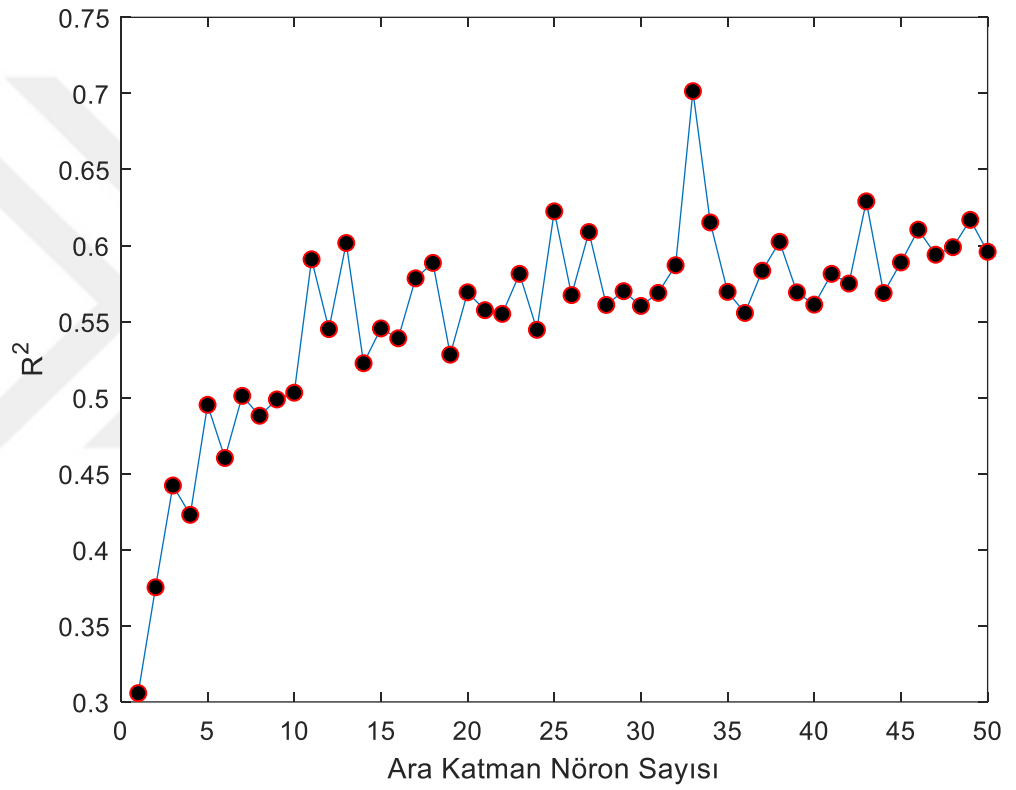
Pnömkonyoz olanlarla olmayanlar arasında yaş, yer altı gün sayısı, toplam gün sayısı, sigara içme durumu, mesleki kategori, 1.grup işlerde çalışmış olma durumu, 1.grup işlerde çalışma süresi, eğitim düzeyi, medeni durum açısından anlamlı fark vardır (sırasıyla $p<0,001$, $p<0,001$, $p<0,001$, $p=0,028$, $p<0,001$, $p=0,001$, $p=0,002$, $p<0,001$, $p<0,001$). Pnömkonyoz olanlarla olmayanlar arasında ilk toz maruziyet yaşı, kronik hastalığa sahip olma veya solunum sistemi hastalığına sahip olma durumu açısından anlamlı fark saptanmamıştır (sırasıyla $p=0,933$, $p=0,068$, $p=0,084$).

Tablo 2. Pnömokonyoz olan ve olmayanların sosyodemografik özellikler ve çalışma öyküsü açısından karşılaştırması

		Pnömokonyoz Olan (n=144)		Pnömokonyoz Olmayan (n=576)		Toplam (n=720)		x ² (p)
		n	%	n	%	n	%	
Eğitim Durumu	İlkokul	62	43,1	204	35,4	266	36,9	<0,001
	Ortaokul	36	25,0	71	12,3	107	14,9	
	Lise	43	29,9	249	43,2	292	40,6	
	Ön lisans	2	1,4	39	6,8	41	5,7	
	Lisans/ Yüksek Lisans	1	0,7	13	2,3	14	1,9	
Medeni Durum	Evli	132	91,7	434	75,3	566	78,6	<0,001
	Bekar	12	8,3	137	23,8	149	20,7	
Kronik Hastalık	Var	25	17,4	66	11,5	91	12,6	0,068
	Yok	119	82,6	510	88,5	629	87,4	
Solunum Sistemi Hastalığı	Var	4	2,8	5	0,9	9	1,3	0,084
	Yok	140	97,2	571	99,1	711	98,7	
Sigara	Kullanıyor veya bırakmış	109	75,7	381	66,1	490	68,1	0,028
	Kullanmamış	35	24,3	195	33,9	230	31,9	
Mesleki Kategori	Üretim Grubu	126	87,5	328	56,9	454	63,1	<0,001
	Kombine Grup	9	6,3	31	5,4	40	5,6	
	Yardımcı Grup	9	6,3	63	10,9	72	10,0	
	Yer üstü Grubu	0	0,0	50	8,7	50	6,9	
	Kısa Süreli Çalışanlar Grubu	0	0,0	104	18,1	104	14,4	
1.grup işler	Çalışmış	131	91,0	454	78,8	585	81,3	0,001
	Çalışmamış	13	9,0	122	21,2	135	18,7	

4.1. Yapay Sinir Ağı Analizleri

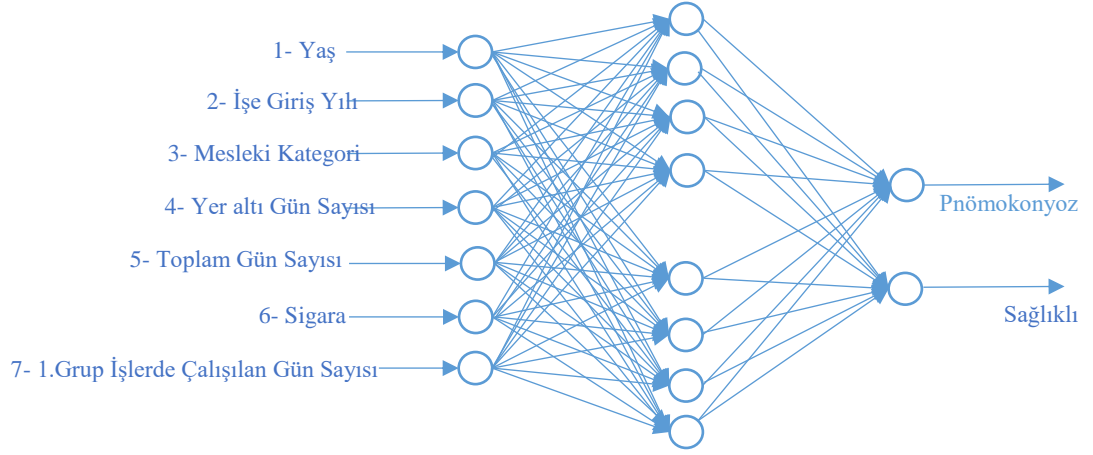
Ağ mimarisi tasarımı aşamasında 7 girişli, 2 çıkışlı ve 1 ara katmana sahip mimaride ara katman nöron sayısı 1-50 değiştirilerek ağ yapıları elde edilmiş ve bu ağlar hazırlanan veri seti yardımıyla 100 deneme yapılarak test edilmiştir. Ara katman simülasyonları sonucunda elde edilen ağ yapılarının performansları şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12: Ara katman nöron sayısına göre YSA'nın performansındaki değişim

*Belirleme Katsayısı(R²)

Şekilde görüldüğü üzere en iyi ağ performansı ara katmanda 33 nörona sahip ağ modelinde elde edilmiştir. Gözlemlenen optimum ağ modelinin nöron mimarisi şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13: YSA Mimarisi

4.1.1. Ağ modeli eğitimi için veri setinin hazırlanması

YSA'nın girdi bileşenini oluşturan veri seti; test, eğitim ve doğrulama seti olmak üzere 3 bölüme ayrılmıştır. Kişilerin %80'i eğitim setine, %10'u doğrulama setine ve %10'u test setine dahil edilmiştir. YSA'nın eğitilmesi için oluşturulan eğitim, doğrulama ve test setlerinin dağılımı Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Eğitim, Test ve Doğrulama Setlerindeki Kişi Dağılımları

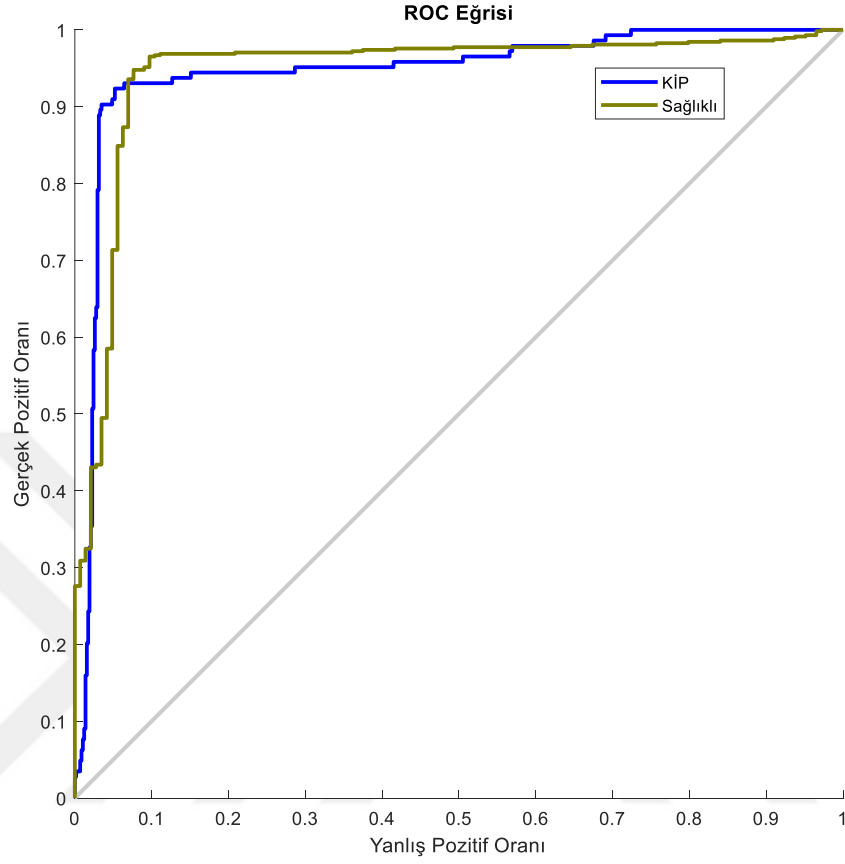
İşçiler	Eğitim Seti		Test Seti		Doğrulama Seti		Toplam	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Pnömkonyoz	119	16,5	12	1,7	13	1,8	144	20,0
Sağlıklı	457	63,5	60	8,3	59	8,2	576	80,0
Toplam	576	80,0	72	10,0	72	10,0	720	100,0

Hazırlanan veri setiyle optimum ağ mimarisi 1000 denemeyle eğitilmiş ve test hatasına göre en iyi model seçilmiştir. Seçilen model başarımı, karmaşıklık matrisi (Confusion Matrix) yardımıyla istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Karmaşıklık matrisinde, veri kümesindeki örneklere ait gerçek değerler sütunlarda, modelin tahminleri ise satırlarda ifade edilmektedir. Optimum ağın performansı incelendiğinde sınıflandırma başarımı %95,3 olarak elde edilmektedir. Sensitivite (duyarlılık) % 90,3, spesifite (özgüllük) %96,5, pozitif prediktif değer (olumlu öngörü değeri) %86,7, negatif prediktif değer (olumsuz öngörü değeri) %97,5 bulunmuştur. Bu ağ modeline ait karmaşıklık matrisi tablosu Şekil 14’te sunulmaktadır.

Tahmin Edilen Değerler	130 18.1%	20 2.8%	86.7% 13.3%
	14 1.9%	556 77.2%	97.5% 2.5%
	90.3% 9.7%	96.5% 3.5%	95.3% 4.7%
	Gerçek Değerler		

Şekil 14. Verilerin YSA’ya Uygulanması Sonucu Elde Edilen Karmaşıklık Matrisi (Confusion Matrix)

ROC eğrisi Şekil 15’te sunulmaktadır.



Şekil 15. ROC Eğrisi

Eğitim setinde başarımlı oranı %95.1, test setinde %100, doğrulama setinde ise %91.7’dir. Eğitim, test ve doğrulama setlerine ait karmaşıklık matrisleri ve ROC eğrileri Şekil 16-21’de sunulmaktadır.

Tahmin Edilen Değerler	108 18.8%	17 3.0%	86.4% 13.6%
	11 1.9%	440 76.4%	97.6% 2.4%
	90.8% 9.2%	96.3% 3.7%	95.1% 4.9%
	Gerçek Değerler		

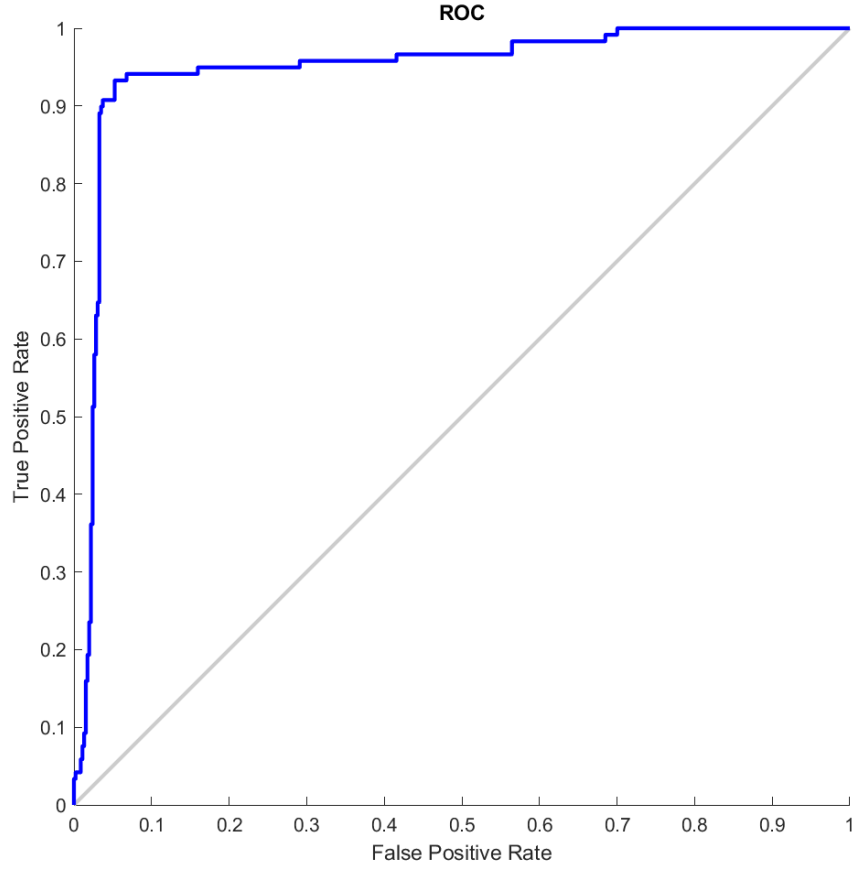
Şekil 16. Eğitim Seti Karmaşıklık Matrisi

Tahmin Edilen Değerler	12 16.7%	0 0.0%	100% 0.0%
	0 0.0%	60 83.3%	100% 0.0%
	100% 0.0%	100% 0.0%	100% 0.0%
	Gerçek Değerler		

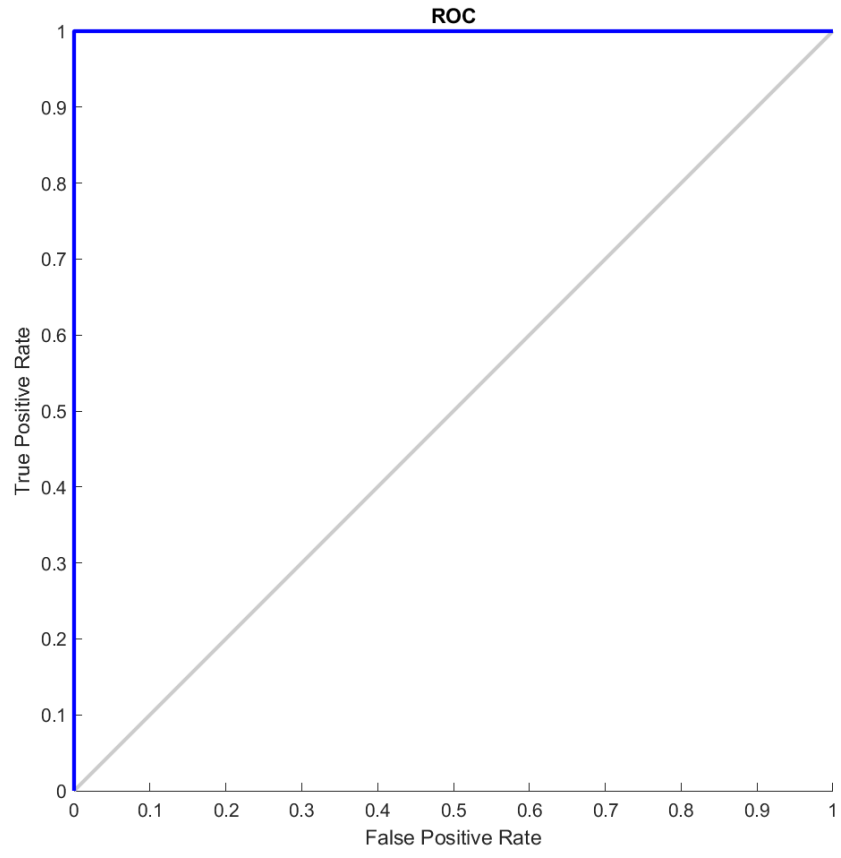
Şekil 17. Test Seti Karmaşıklık Matrisi

Tahmin Edilen Değerler	10 13.9%	3 4.2%	76.9% 23.1%
	3 4.2%	56 77.8%	94.9% 5.1%
	76.9% 23.1%	94.9% 5.1%	91.7% 8.3%
	Gerçek Değerler		

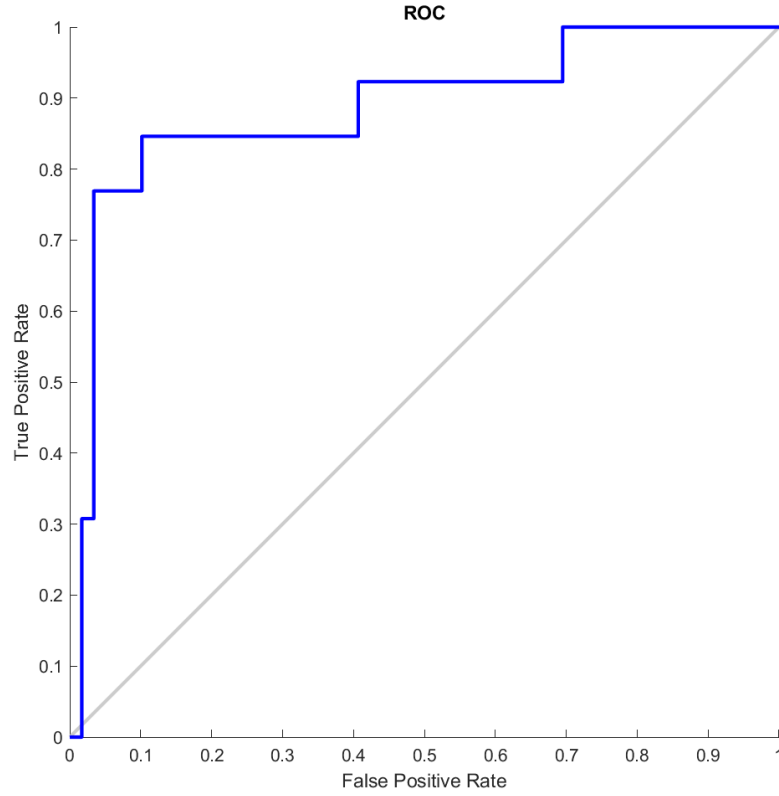
Şekil 18. Doğrulama Seti Karmaşıklık Matrisi



Şekil 19. Eğitim Seti ROC Eğrisi



Şekil 20. Test Seti ROC Eğrisi



Şekil 21. Doğrulama Seti ROC Eğrisi

Girdilerin pnömokonyoz üzerindeki önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla girdi nöronlarını ara katman nöronlarına bağlayan ağırlıkların mutlak değerleri her bir girdi için ayrı ayrı toplanarak en yüksek toplam değerine sahip olan girdinin pnömokonyoz üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu saptanmıştır. Tablo 4'te girdilerin ağırlıkları, Tablo 5'te ise bu ağırlıkların mutlak değerleri toplamına göre girdilerin önem dereceleri gösterilmektedir. Bu analize göre pnömokonyoz üzerinde en etkili girdi değişkeni yaş olarak görünmektedir. Diğer girdiler önem derecelerine göre sırasıyla 1.grup işlerde çalışma süresi, yer altı gün sayısı, işe giriş yılı, toplam gün sayısı, sigara kullanma durumu ve mesleki kategoridir.

Tablo 4. Girdi Katman Ağırlıkları

Girdiler	Yaş	İşe Giriş Yılı	Yer altı Gün Sayısı	Toplam Gün Sayısı	Sigara Kullanma Durumu	1.grup işlerde çalışma süresi	Mesleki kategori
	0,30889	0,062006	0,11054	0,40002	0,66641	0,3916	0,73296
	-0,68594	-0,36593	0,37779	0,06183	-0,20578	-0,47929	0,54846
	-4,3827	-2,4188	-0,73169	2,9947	-2,2876	2,3945	2,0336
	0,035478	-0,51182	-0,39447	-0,073774	-0,25563	-0,19826	-0,9692
	-1,4812	-0,73617	1,9579	-0,31552	-0,20004	1,6103	-0,9323
	1,6546	1,6456	2,4175	1,5043	-1,2725	-3,1181	-1,4923
	0,45591	-3,1933	0,81816	-1,811	0,42221	-3,0822	-0,9981
	-1,8966	-2,35	1,3389	1,0679	-0,048182	1,2321	-1,9792
	-0,010678	0,34312	-0,2267	0,32654	0,4652	2,5083	-0,1833
	-2,7652	-1,5789	3,0273	-1,094	0,8456	0,35668	-0,1859
	1,6848	5,7215	3,4607	1,2665	1,7897	-1,4066	-0,8
	-4,2015	0,24221	-6,3984	1,2457	1,7931	-3,2079	0,20181
	-2,3526	1,9442	0,9642	2,9142	1,2708	0,77055	-3,3447
	-6,539	-3,243	-2,2572	2,5491	-2,6601	-3,3046	0,95235
	-3,0796	1,8213	-2,2539	1,2027	-3,7936	-2,6419	1,9892
	-0,68653	2,2601	2,0435	-1,2651	-0,39107	1,7924	-1,1386
	-2,7063	-1,0342	1,5127	2,8077	1,008	0,82369	2,5307
	-1,2046	2,6175	1,4566	-0,031534	3,2827	5,1486	1,1865
	0,72335	0,91425	0,01398	0,10535	-1,8736	1,8167	-0,4781
	1,6867	-0,28683	-0,39781	-0,61078	0,35342	3,5883	-0,2577
	0,23486	1,7253	0,99536	-0,41661	1,5717	-1,5913	3,1899
	3,5643	-0,45873	-2,7965	0,7906	1,4709	-1,785	-0,9341
	2,1123	-3,4737	5,2047	1,9406	-1,983	-4,3905	1,7921
	-0,16616	1,4361	-0,10109	-1,442	-0,24252	-0,30229	-2,0334
	-0,30669	0,13798	-0,80663	0,0069707	1,4697	0,63758	-0,765
	-3,3446	1,8915	0,35394	2,9961	1,2721	-0,44444	-1,5013
	-4,5856	0,54118	2,8296	1,0854	-2,3131	2,471	-0,169
	-0,037016	0,050556	-0,048239	-0,40102	-0,61542	0,64691	-1,2018
	0,70191	1,5465	-2,3966	-4,3142	-2,3762	-0,78788	-1,5675
	-0,24836	-0,1394	-0,013766	0,067419	0,40013	0,46826	1,062
	-0,14356	-0,76998	2,0787	0,29516	-1,5583	-1,3792	1,7898
	-3,0432	4,4191	1,5823	4,3316	-1,2478	-0,89471	-0,5355
	1,169	1,4435	-4,0504	0,52375	-0,69976	0,15701	-0,1284

Tablo 5. Girdi Katmanı Ağırlıklarının Mutlak Değerleri Toplamına Göre Önem Dereceleri

Girdiler	Yaş	İşe Giriş Yılı	Yer altı Gün Sayısı	Toplam Gün Sayısı	Sigara Kullanma Durumu	1.grup işlerde çalışma süresi	Mesleki kategori
	0,30889	0,062006	0,11054	0,40002	0,66641	0,3916	0,73296
	0,68594	0,36593	0,37779	0,06183	0,20578	0,47929	0,54846
	4,3827	2,4188	0,73169	2,9947	2,2876	2,3945	2,0336
	0,035478	0,51182	0,39447	0,073774	0,25563	0,19826	0,9692
	1,4812	0,73617	1,9579	0,31552	0,20004	1,6103	0,9323
	1,6546	1,6456	2,4175	1,5043	1,2725	3,1181	1,4923
	0,45591	3,1933	0,81816	1,811	0,42221	3,0822	0,9981
	1,8966	2,35	1,3389	1,0679	0,048182	1,2321	1,9792
	0,010678	0,34312	0,2267	0,32654	0,4652	2,5083	0,1833
	2,7652	1,5789	3,0273	1,094	0,8456	0,35668	0,1859
	1,6848	5,7215	3,4607	1,2665	1,7897	1,4066	0,8
	4,2015	0,24221	6,3984	1,2457	1,7931	3,2079	0,20181
	2,3526	1,9442	0,9642	2,9142	1,2708	0,77055	3,3447
	6,539	3,243	2,2572	2,5491	2,6601	3,3046	0,95235
	3,0796	1,8213	2,2539	1,2027	3,7936	2,6419	1,9892
	0,68653	2,2601	2,0435	1,2651	0,39107	1,7924	1,1386
Katman	2,7063	1,0342	1,5127	2,8077	1,008	0,82369	2,5307
Ağırlıklarının	1,2046	2,6175	1,4566	0,031534	3,2827	5,1486	1,1865
Mutlak	0,72335	0,91425	0,01398	0,10535	1,8736	1,8167	0,4781
Değerleri	1,6867	0,28683	0,39781	0,61078	0,35342	3,5883	0,2577
	0,23486	1,7253	0,99536	0,41661	1,5717	1,5913	3,1899
	3,5643	0,45873	2,7965	0,7906	1,4709	1,785	0,9341
	2,1123	3,4737	5,2047	1,9406	1,983	4,3905	1,7921
	0,16616	1,4361	0,10109	1,442	0,24252	0,30229	2,0334
	0,30669	0,13798	0,80663	0,006971	1,4697	0,63758	0,765
	3,3446	1,8915	0,35394	2,9961	1,2721	0,44444	1,5013
	4,5856	0,54118	2,8296	1,0854	2,3131	2,471	0,169
	0,037016	0,050556	0,048239	0,40102	0,61542	0,64691	1,2018
	0,70191	1,5465	2,3966	4,3142	2,3762	0,78788	1,5675
	0,24836	0,1394	0,013766	0,067419	0,40013	0,46826	1,062
	0,14356	0,76998	2,0787	0,29516	1,5583	1,3792	1,7898
	3,0432	4,4191	1,5823	4,3316	1,2478	0,89471	0,5355
	1,169	1,4435	4,0504	0,52375	0,69976	0,15701	0,1284
Toplam	58,19973	51,32426	55,41777	42,25968	42,10587	55,82865	39,60478
Sonuç	1	4	3	5	6	2	7

5. TARTIŞMA

Pnömkonyoz, günümüzde tedavisi mevcut olmayan ancak etkili müdahaleler sayesinde önlenebilen bir meslek hastalığıdır. Bu sebeple riskinin öngörülmesi ve erken kontrol stratejileri büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmada TTK’de çalışmakta olan 720 kişinin verileri kullanılarak yapay sinir ağı ile pnömokonyoz riskini öngören bir model oluşturulmuştur. Tüm TTK müesseselerinde toplam 144 işçinin pnömokonyoz tanısı mevcuttur. Pnömkonyoz şüphesi olan ancak henüz tanısı kesinleşmemiş işçiler çalışmaya dahil edilmemiştir. Yapay sinir ağının başarı oranını etkilememesi amacıyla pnömokonyoz tanısı olmayan işçilerin tamamının çalışmaya dahil edilmesi yerine örnekleme yapılarak 1:4 oranında pnömokonyoz olmayan çalışan seçilmiştir. Dolayısıyla araştırmaya alınan kişilerin % 20’si kömür işçisi pnömokonyozu tanısına sahiptir.

Araştırmanın tanımlayıcı verilerine bakacak olursak; işçilerin %36,9’u ilkökul, %14,9’u ortaokul, %40,6’sı lise, %5,7’si ön lisans, %1,9’u lisans veya lisan üstü eğitim durumuna sahiptir. Elma ve Aysan’ın Zonguldak’taki kamu ve özel maden ocaklarını incelediği araştırmasında, Karakoyun’un TTK Zonguldak Kozlu müessesinde yaptığı araştırmada, 2008-2009 yıllarında Gülduran ve ark.’nın kamuya ait bir kömür işletmesinde yaptıkları çalışmada işçilerin eğitim durumları benzerdir (187-189). 2002 yılında Unalacak ve arkadaşlarının Zonguldak Karadon ve Gelik maden ocaklarında yaptıkları araştırmada ise %67,9 ilkökul, %23,4 ortaokul, %8,2 lise mezunu olmakla birlikte hiçbir işçi üniversite mezunu değildir (190). Araştırmada kişilerin %75,3’ü evlidir. Karakoyun’un araştırmasında %91,1’i, Gülduran ve ark.’nın araştırmasında %94,7’si, Aysan ve Kablay’ın Soma’da çalışan madencilerde yaptıkları çalışmada ise işçilerin %74,7’si evlidir (188, 189, 191). Araştırmaya alınanların yaş ortalaması 37,1’dir. Unalacak ve ark.’nın araştırmasında ortalama yaş 38 iken Gülduran ve ark.’nın araştırmasında ise 43,8’dir (188, 190). İlk toz maruziyet yaşı ortalaması $25,9 \pm 3,8$ ’dir (14-44). İş Kanunu’na göre madenlerde 18 yaşını doldurmamış kişilerin çalışması yasak olmasına rağmen Elma ve Aysan 2016’da Zonguldak’ta yaptıkları kamu ve özel madenlerde çalışan işçileri inceledikleri

araştırmada kamuda işe başlama yaşı en az 18 iken, özel maden ocaklarında çalışanların %40'ının işe başlama yaşının 18'in altında olduğunu saptamışlardır (187, 192). İşçilerin %12,6'sının kronik hastalığı mevcuttur. %1,3'ünün pnömokonyoz dışında solunum sistemi ile ilgili bir hastalığı mevcuttur.

Yer altında çalıştıkları gün sayısı ortalaması 2959,7 gün, toplam çalıştıkları gün sayısı ortalaması 3850,5 gündür. Unalacak ve arkadaşlarının Gelik ve Karadon madenlerinde 2004 yılında yaptıkları araştırmada da ortalama toz maruziyet süresi 8,7 yıl olarak saptanmıştır (190). Liu ve arkadaşlarının mesleki geçmişlere dayanarak Çin'de yaptıkları pnömokonyoz risklerini öngörmeyi amaçlayan ve emeklilerin de dahil edildiği araştırmada çalışma süresi ortalaması 18,39 yıldır. Bu fark; araştırmamıza emeklilerin dahil edilmemiş olması ve ayrıca Liu ve ark.'nın araştırmasında en az 5 yıl toz maruziyeti olan işçilerin dahil edilmiş olmasından kaynaklanmış olabilir (16).

Bu araştırmada işçiler arasında yaşamının herhangi bir döneminde sigara kullanmış olma oranı %68,1 olarak saptanmıştır. Karakoyun'un Kozlu müessesinde yaptığı araştırmada bu oran %74, 2004 yılında Unalacak ve ark.'nın araştırmasında %82,3, 2002 yılında yine Zonguldak'ta 71 madencide yapılan bir çalışmada sigara içme oranı ise %88 olarak bulunmuştur (94, 189, 190).

Mesleki kategorilere bakıldığında; işçilerin %63,1 üretim işleri grubunda, %5,6 kombine grupta, %10,0 yardımcı grupta, %6,9 yer üstü grubunda, %14,4'ü 1 yıldan kısa süre çalışanlar grubundadır. İşçilerin %81,3'ü 1.grup işlerde çalışmıştır. Tüm işçilerin 1.grup işlerde çalışma yılı ortalaması $5,5 \pm 4,9$ yıldır. İşçilerin %93,6'sı 2000 yılında veya sonrasında işe girmiştir. Liu ve ark.'nın (16) çalışmasında çalışanların %35'i tünel açma, %19,9'u madencilik işleri, %40,3'ü yardımcı işlerde, %4,6'sı ise kombine işlerde çalışmaktadır ve işçilerin neredeyse tamamı 2000 yılından önce işe girmiştir.

Yapay sinir ağları günümüzde tıp alanında birçok hastalığın tahmininde kendine yer bulmaya başlamıştır. Literatürde kömür işçisi pnömokonyozu gelişme riskini öngörmek için yapay sinir ağlarını kullanan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Farklı mesleki geçmişlere sahip işçilerin kömür işçisi pnömokonyozu olma risklerinin farklı olduğu bilinmektedir. Çalışmamızda kömür işçisi pnömokonyozu risklerini

öngörebilmek amacıyla işçilerin anamnezlerine dayanarak, üç katmanlı bir yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Araştırmada optimum ağın performansı incelendiğinde sınıflandırma başarımı %95,3 olarak bulunmuştur. Sensitivite %90,3, spesifite %96,5, pozitif prediktif değer %86,7, negatif prediktif değer %97,5 bulunmuştur. Eğitim setinde başarı oranı %95,1, test setinde %100, doğrulama setinde ise %91,7 olarak saptanmıştır.

Liu ve ark.'nın mesleki geçmişlere dayanarak yapay sinir ağı ile kömür işçisi pnömokonyozunu öngörmeyi amaçladıkları bir araştırmada eğitim, doğrulama ve test setlerinde ROC eğrisi altında kalan oranlar sırasıyla 0,98, 0,97 ve 0,99'dur. Liu ve ark.'nın çalışması mesleki geçmişlerin kömür işçisi pnömokonyozu için yüksek risk altındaki kömür madencilerini tahmin etmek amacıyla kullanılabileceğini göstermesi açısından küresel anlamda sınırlı sayıda araştırılardan biridir (16). Yine Çin'de Shen ve ark. tarafından yapılan benzer bir çalışmada mesleki kategori, ilk toza maruz kalma yılı, toza maruziyet süresi ve kümülatif toz maruziyeti olduğu kömür işçisi pnömokonyozu riskinin tahminine yönelik bir araştırmada elde edilen modelin doğruluğu %91,8, duyarlılığı %81,4, özgüllüğü ise %92,3 olarak bulunmuştur (1). Zang ve ark. radyologlara akciğer radyografilerini kullanarak pnömokonyoz taraması ve evreleme konusunda yardımcı olmak için yapay zeka tabanlı bir model geliştirmeyi amaçladıkları bir araştırmada test seti için, pnömokonyoz tarama doğruluğunu 0,973, hem duyarlılık hem de özgüllüğü ise 0,97'den büyük bulmuştur (10).

Yapay sinir ağları ile pnömokonyoz riskini tahmin etmeyi hedefleyen çalışmalar sınırlı olsa da diğer hastalık risklerini öngörmeye çalışan birçok çalışma mevcuttur. Baxt ve Skora'nın yaptıkları bir araştırmada Kaliforniya'da bir acil servise göğüs ağrısı ile başvuran hastaları değerlendiren acil servis hekimlerinin miyokard enfarktüsü için tanısal duyarlılığı ve özgüllüğü sırasıyla %73 ve %81 iken, yapay sinir ağının ağın tanısal duyarlılığı ve özgüllüğü % 96 olarak bulunmuştur (158). 1992 yılında Astion ve Wilding tarafından yapılan ve YSA'yı kanser tanısı için laboratuvar bulgularının yorumlanması amacıyla kullanan bir araştırmada bireysel tanı kategorileri için başarı oranlarına bakıldığında malign meme kitleleri için %78 ve benign durumlar için %88 olarak saptanmıştır (160). Er ve ark. KOAH teşhisi için radyal tabanlı yapay sinir ağlarını kullanmış ve doğruluğu %90 olarak bulmuşlardır (193). Bir başka çalışmada

ise Er ve arkadaşları bu kez KOAH teşhisi için çok katmanlı yapay sinir ağlarını kullanmış ve doğruluğu %95,4 olarak bulmuştur (194).

Yapay sinir ağlarının geleneksel istatistiksel yöntemlere üstün olup olmadığı konusunda da araştırmalar yapılmaktadır. Liu ve ark. kömür işçisi pnömokonyozunu öngörmeyi amaçladıkları araştırmada eğitim, doğrulama ve test setlerinde AUROC oranları sırasıyla 0.98, 0.97 ve 0.99 olarak bulmuşlardır. Suarhana ve ark. ise lojistik regresyon ile pnömokonyoz olma riskini öngörmeyi amaçladıkları çalışmalarında işçilerin solunum semptomlarına, maruziyet seviyesine ve akciğer fonksiyonlarına göre çok değişkenli bir lojistik regresyon modeli uygulamışlardır. Bu modellerin AUROC değerlerini 0,79- 0,81 arasında saptamışlardır. Liu kendi araştırması ile Suarhana'nın araştırmasını kıyaslayarak bu iki modelde farklı değişkenler olmasına rağmen, yapay sinir ağlarının lojistik regresyona kıyasla bireysel sınıflandırma açısından üstün olduğunu belirtmiştir (3, 16).

Taş kırma işçilerinde silika tozu maruziyetine bağlı akciğer hastalıklarının tahmin edilmesi için yapılmış bir araştırmada yapay sinir ağlarının ve lojistik regresyonun, zararlı kirleticilere maruz kalan işçilerdeki akciğer bozuklukları gibi karmaşık durumları tahmin etmek için kabul edilebilir performansa sahip olduğu doğrulanmıştır. Çalışmada, geliştirilen sinir ağı modelinin; duyarlılık, özgüllük ve ROC eğrisi altındaki alan açısından akciğer bozukluğunu tahmin etme konusunda lojistik regresyona kıyasla daha uygun performansa sahip olduğu vurgulanmıştır (195).

Sedehi ve ark. metabolik sendrom tahmininde yapay sinir ağı, lojistik regresyon ve diskriminant analiz methodunu karşılaştırarak yapay sinir ağı modellerinin metabolik sendromu tahmin etmede klasik istatistiksel modellerden daha iyi performans gösterdiğini ve klasik istatistiksel modellerin kısıtlı uygulamaya sahip olduğu durumlarda tahmin ve sınıflandırmada kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Sedehi ve arkadaşları metabolik sendromun tahmini için kullandıkları yapay sinir ağı modelleri [(15: 8: 1) ve (15: 10: 10)] için ROC eğrisi altındaki alanları sırasıyla 0,748 ve 0,890, modellerin duyarlılığını 0,453 ve 0,863 ve özgüllükleri 0,910 ve 0,844 olarak tahmin etmişlerdir (196). Aynı şekilde tip 2 diyabette risk faktörlerini belirlemek amacıyla yapay sinir ağı, lojistik regresyon ve diskriminant analiz yöntemlerini

karşılaştıran bir araştırmada ise ROC eğrisinin altındaki alana göre, üç modelin tahmin gücü; sırasıyla 0,864, 0,884 ve 0,80 olarak tahmin edilmiştir. %95,2 ile YSA, üç model arasında en yüksek duyarlılığı göstermiştir ve çalışmanın sonucunda lojistik regresyon diyabetik ve prediyabetik hastaları ayırt etmede daha güçlü olmasına rağmen, radyal tabanlı fonksiyon yapay sinir ağının daha yüksek bir doğruluk ve duyarlılığa sahip olduğu ifade edilmiştir (197).

Acil servislerde akut koroner sendromun tahmininde yapay sinir ağları ile multiple lojistik regresyonu karşılaştıran başka bir çalışmada da yine lojistik regresyon modellerine kıyasla YSA modelinin kullanılmasının daha avantajlı olduğu belirtilmiştir (198).

Yine bir başka araştırmada Golub ve arkadaşları safra kanalı taşlarının tahmini için yapay sinir ağları kullanılmış ve rastgele türetilmiş 10 ağın ortalama doğruluk oranını %91 bulmuştur. Ayrıca çalışmada yapay sinir ağının tahmin yeteneğinin geleneksel modellerden üstün olduğu, önemli prediktör değişkenleri tanımlayabildiğini ancak, sinir ağlarının bir kara kutu gibi işlev gördüğünü ve ağın verileri nasıl düşündüğünün ve analiz ettiğinin saptanamadığı belirtilmiştir (165).

Bir modele çok sayıda değişken girme imkanı ve eksik verilere rağmen modelin çalışabilmesi, hata toleransı gibi özellikler yapay sinir ağlarının bu alanlardaki kullanımını cazip kılmaktadır (197). Ancak yapay sinir ağlarının hastalıkların tahmini konusundaki avantajları birçok çalışmada gösterilmiş olsa da kullanıcı becerisine ihtiyaç duyulması, model yapısının geliştirilmesi için uzun zaman harcanması ve tahmin modelinin iyileştirilmesi için deneme yanılma yöntemlerinin kullanılması gibi sebeplerle kullanımları zordur (195). Yapay sinir ağlarının hastalık tahmininde kullanıldığı bu araştırmalar ile kıyaslandığında oluşturduğumuz modelin sınıflandırma başarımının yüksek olduğu ifade edilebilir. Belirli bir sonucu modellemek üzere eğitilen bir YSA, yeni verilerin girilmesinden sonraki saniyeler içinde yeni bir vakanın sonucunu tahmin edebilmekte ve böylece klinisyenlere yardımcı olabilmektedir (159).

Ek olarak pnömokonyoz uzun latent döneme sahip bir hastalıktır. Ayoğlu ve ark.'nın 2008 yılında Zonguldak Uzunmehmet Göğüs ve Meslek Hastalıkları Hastanesinde KİP tanısı koyulan hastalar ile ilgili yaptıkları çalışmada tüm vakaların %97,6'sının emekli olduğu ve emekli olduktan 10,8 yıl sonra KİP tanısı aldıkları

saptanmıştır. Ayrıca işçilerin emeklilik sonrası havzadaki nispeten küçük bazı madenlerde gayri resmi olarak çalışmalarının kömür tozuna maruziyetin kümülatif etkisinin devam etmesine yol açabileceğini vurgulamışlardır (199). Dolayısıyla geliştirilen bu model işyeri hekimlerine yardımcı olmak amacıyla kullanılabilmesinin yanı sıra, aile hekimlerinin kendilerine bağlı emekli işçilerin pnömokonyoz risklerinin saptanarak ilgili kurumlara yönlendirilmelerine yardımcı olacak bir araç olarak da kullanımları sağlanarak gözden kaçmalarına engel olunabilir.

Bu çalışmada işçilerin pnömokonyoz olma riskini tahmin eden bir model geliştirmenin yanı sıra pnömokonyozu neden olan risk faktörleri ile ilgili de analizler yapılmıştır. Kömür işçilerinde pnömokonyoz hastalığını hizmet işi süresi boyunca etkileyen birçok faktör olduğu bilinmektedir (2). Araştırmada öncelikle geleneksel istatistiksel yöntemlerle pnömokonyoz olanlar ile olmayan işçiler tüm parametreler yönünden karşılaştırılmıştır. Pnömokonyoz olanlarla olmayanlar arasında yaş, yer altı gün sayısı, toplam gün sayısı, sigara içme durumu, mesleki kategori, 1. grup işlerde çalışmış olma durumu, 1. grup işlerde çalışma süresi, eğitim düzeyi, medeni durum açısından anlamlı fark saptanmıştır. İlk toz maruziyet yaşı, kronik hastalığa sahip olma veya solunum sistemi hastalığına sahip olma durumu açısından ise anlamlı fark saptanmamıştır.

Daha sonra sinir ağı modelinde denemeler yapılarak yaş, 1. grup işlerde çalışma süresi, yer altı ve toplam gün sayısı, işe giriş yılı, sigara kullanma durumu, mesleki kategori, kurumda çalışma yılı, ilk toz maruziyet yaşı, eğitim düzeyi, medeni durum, kronik hastalık ve solunum sistemi hastalığı varlığı gibi girdilerin testin başarı oranına etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak yaş, 1. grup işlerde çalışma süresi, yer altı gün sayısı, işe giriş yılı, toplam gün sayısı, sigara kullanma durumu ve mesleki kategori gibi girdiler kullanıldığında testin başarı oranının arttığı saptanmış ve modele bu değişkenler dahil edilmiştir. Kurumda çalışma yılı, ilk toz maruziyet yaşı, eğitim düzeyi medeni durum, kronik hastalık varlığı ve solunum sistemi hastalığı varlığı gibi girdiler modele dahil edildiğinde ise yapay sinir ağı modelinin başarılarının düştüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla pnömokonyozun öngörülmesi amacıyla oluşturulan modelde bu girdiler kullanılmamıştır.

TTK'de çalışmakta olan kömür işçilerinin kurumda çalışma yılları içerisinde aktif olarak yer altında ya da toz konsantrasyonlarının daha yoğun olduğu kömür üretim işlerinde çalıştıkları süreler ve çalıştıkları bölümler önemli değişkenlikler göstermektedir. Bazı işçiler 20-30 yıllık çalışma sürelerinin yalnızca birkaç yılını yer altında toz maruziyeti yüksek alanlarda geçirmiş olabilmektedir. Dolayısıyla yer altında çalıştıkları gün sayısı gibi aktif çalışılan süreler modelde kendine yer bulabilmişken, işçinin kaç yıl boyunca bu kurumda çalışmış olduğu muhtemelen toz maruziyetinin düzeyini yansıtmayabileceğinden başarıyı düşürmüş ve modelde kullanılmamıştır. Eğitim düzeyi istatistiksel analizlerde pnömokonyoz olma durumunu etkileyen bir değişken olarak görünmesine rağmen yapay sinir ağı modelinin başarı oranını yükseltmediğinden modelde kullanılmamıştır.

Yaş, toz maruziyet süresi, çalışılan iş türü, mesleki kategori gibi değişkenlerin pnömokonyoz açısından risk faktörü olduğu bilinmektedir (1, 19, 41, 81). Aydın'ın Zonguldak'ta lojistik regresyon ile kömür işçilerinde pnömokonyoz riskini değerlendirdiği araştırmada mesleki kategorilere (yüzey çalışanları, nakliye işçileri, tünel/galeri işçileri, kontrolör, diğer) göre yüzey çalışanlarının KİP oluşumunda referans gruptan önemli ölçüde farklı olduğunu, diğerlerindeki farkın ise anlamlı olmadığını göstermişlerdir. Yaş kategorisinin de her durumda önemli pozitif sonuçlar gösterdiğini ve istihdam yaşı arttıkça KİP'in daha yüksek oranda görüldüğünü belirtmişlerdir. Aynı şekilde madencilerin toz maruziyet süresi arttıkça KİP oluşumunun arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, ilk 10 yıla göre 10-15 ve 15-20 yıllık çalışma süreleri için KİP oluşumu 5 ve 20 kat daha fazla olduğunu bulmuşlardır. İşçilerin eğitim seviyesi arttıkça KİP oluşumunun azaldığını ve bunun eğitilmiş çalışanların toz filtreleri ve maskelerin kullanımı gibi KİP önleme tedbirlerine daha iyi uyum göstermelerine veya daha az toza maruz kalınan işlerde çalışmalarına bağlı olabileceğini belirtmişlerdir (75). Shen ve ark.'nın Çin'de yaptıkları bir çalışmada mesleki kategorilere göre 40 yıllık kümülatif insidans oranları yüksekten düşüğe tünel açma işçileri, madenciler, kombine işlerde çalışanlar ve yardımcı işlerde çalışanlar olarak sıralanmıştır (1). Ayoğlu ve ark.'nın 2008 yılında Zonguldak Uzunmehmet Göğüs ve Meslek Hastalıkları Hastanesine başvuran KİP hastaları ile ilgili yaptıkları araştırmada basit ve ileri KİP vakaları arasında ilk maruziyet yaşı açısından anlamlı fark olduğu saptamışlardır (199). Dolayısıyla ilk toz maruziyet yaşı pnömokonyoz için

risk faktörü olmaktan ziyade hastalığın prognozunu etkileyen bir unsur olarak da düşünülebilir. Sigara ile ilgili ILO'nun görüşü sigaranın pnömokonyoz riskini arttırmadığı yönünde olsa da bazı araştırmalar sigara kullananlarda akciğerlerde solunabilir toz konsantrasyonlarının daha fazla olmasının pnömokonyoz riskini arttırabileceğini savunmaktadır (20, 85). Bu çalışmaya çok benzer bir araştırma olan Liu ve ark.'nın çalışmasında sigara kullanımının kömür işçisi pnömokonyozu üzerinde etkisi zayıf olmasına rağmen önemli bir karıştırıcı faktör olduğunu ve mesleki geçmişlerden sigara ile ilgili verilere ulaşamadıkları için modele ekleyememelerinin önemli bir kısıtlılık olduğunu belirtmişlerdir (16). Literatürde pnömokonyoz dışı diğer akciğer hastalıklarına sahip olma durumunun pnömokonyoz riskini arttırabileceği söylenmesine rağmen bu çalışmada fark saptanmamıştır (84).

Son olarak bu araştırmada girdi değişkenlerinin pnömokonyoz üzerindeki etki düzeyleri de tespit edilmiştir. Bu tespit bu tip araştırmalarda yapay sinir ağlarının kullanımının önemli avantajlarından biridir. Pnömokonyoz üzerinde en etkili girdi değişkeni yaş olarak saptanmıştır. Diğer girdiler ise önem derecelerine göre sırasıyla 1.grup işlerde çalışma süresi, yer altı gün sayısı, işe giriş yılı, toplam gün sayısı, sigara kullanma durumu ve mesleki kategori olarak bulunmuştur. Yaşın pnömokonyozla ilişkisi bilinmesine rağmen bunun yaşa bağlı toz maruziyet süresinin artışıyla mı ilgili olduğu yoksa gerçekten risk faktörü olarak kabul edilip edilemeyeceği ile ilgili veriler tartışmalıdır. Pnömokonyozun kümülatif toz birikimi sonucu uzun yıllar içerisinde oluşan bir hastalık olduğu bilinmektedir. Pnömokonyoz kontrol ve erken müdahale stratejileri oluştururken daha yaşlı gruptaki işçiler üzerine eğilmek etkili olabilir. Çalışmada 1. grup işler olarak belirlediğimiz en yüksek toz konsantrasyonuna maruziyetin bulunduğu kömür üretim işlerinde daha uzun süre çalışmış olmanın en önemli 2. değişken olduğu saptanmıştır. Çin'de Liu ve ark. tarafından yapılan araştırmada yaş, toz maruziyet süresi, toz maruziyetinin başlangıç yaşı ve yılı, mesleki kategori gibi girdiler içerisinde kömür işçisi pnömokonyozu tahminini etkileyen en önemli iki değişkenin; toz maruziyeti süresi ve mesleki kategori olduğu saptanmıştır (16). Zhang ve ark.'nın kömür işçisi pnömokonyozunun başlangıç zamanı üzerindeki farklı faktörlerin etkisini araştırdıkları çalışmasında da pnömokonyoz başlangıcı üzerine en etkili değişkenin toz maruziyet süresi olduğu saptanmıştır (5). Wang ve ark.'nın yapay sinir ağları ile kömür işçilerinde pnömokonyoz insidans yaşını tahmin

etmeyi amaçladıkları araştırmalarında tahminde en önemli değişken toz maruziyet süresi, ardından sırasıyla tozun çeşidi, toza maruz kalınan yıllar ve yaş olduğunu gösterilmiştir (2). Daha fazla toz maruziyetinin olduğu kömür üretim işlerinde uzun süre çalışanlar ve toz maruziyet süresi uzun olan işçilerin periyodik muayeneler sırasında daha titiz incelenmesi gerektiği açıktır.

5.1. Çalışmanın Kısıtlılıkları

Bu araştırmanın en önemli kısıtlılığı pnömokonyozda önemli bir risk faktörü olduğu bilinen toz konsantrasyonlarının modele dahil edilememiş olmasıdır. Kayıtlarda TTK'de çalışmakta olan işçiler yıllar içerisinde çok farklı iş gruplarında ve maden ocağının farklı bölümlerinde çalışmış olarak görülmektedir. Bir işçi bazen 1 yıllık süreçte dahi birer aylık periyodlarla pano ayak üretiminden nakliyat işçiliğine veya yer üstü işlerine alınabilmektedir. Sürekli iş sirkülasyonunun olduğu bu durum sebebiyle her bir işçinin kümülatif toz maruziyetini saptamak oldukça zordur ve hatta çoğu zaman gerçeği yansıtmayabilir. Ayrıca işyerleri için toz konsantrasyon ölçümleri, ortalama toz izleme numuneleri konsantrasyonlarına dayandığından, bu numuneler iş yerlerindeki gerçek kümülatif toza maruz kalmayı yansıtmayabilir. Bu nedenlerle bu araştırmada toz konsantrasyonları modele dahil edilmemiştir. Ancak bazı çalışmalar toza maruziyet süresi, mesleki kategori, işyeri ve iş türü gibi parametrelerin kümülatif toz maruziyeti ve toz konsantrasyonu ile yakından ilişkili olduğunu göstermekte ve böylece toza maruz kalmanın etkisi kısmen meslek değişkeni sayesinde yakalanabilmektedir; yine de etkinin büyüklüğü hala bilinmemektedir (75, 200, 201). Dolayısıyla bu çalışmada toz maruziyet süreleri (yer altı gün sayısı, toplam gün sayısı, 1.grup işlerde çalışma süresi) ve mesleki kategorilendirme gibi girdiler kullanılarak toz maruziyetini yansıtmak hedeflenmiştir. Yine de araştırmanın toz konsantrasyonları da dahil edilerek geliştirilmesi düşünülmektedir.

Araştırmanın bir diğer kısıtlılığı işçilerin sigara kullanım durumları ile ilişkilidir. Sağlık dosyalarında yalnızca aktif sigara içmekte olan işçilerin içtikleri sigara miktarları paket/yıl cinsinden kayıt edilmiştir. Hayatının herhangi bir döneminde sigara içip bırakmış olan işçilerin ne kadar sigara kullandıkları ile ilgili bilgiye ulaşılamamıştır. Dolayısıyla sigara kullanma durumları yalnızca hayatının bir

döneminde sigara kullanmış ya da kullanmamış olarak değerlendirmeye alınabilmiştir. Sigaranın etkisinin paket/yıl olarak hesaplanarak modele eklenmesinin modelin başarıml oranını etkileyebileceğini düşünmekteyiz.

Araştırmada iş gruplarını ve mesleki kategorilendirmeyi belirlemek oldukça zor ve öznelldir. Çünkü daha önce de bahsedildiği gibi işçilerin çalıştıkları iş alanları sürekli olarak değişmektedir. Ayrıca yer üstü veya daha az riskli gibi görünen iş kollarında dahi yüksek toz konsantrasyonlarına maruz kalınabilmekte ya da tam tersi yüksek tozlu ortamda çalışmasına rağmen yalnızca şef pozisyonunda olması sebebiyle daha az miktarda ve kısa sürelerde toza maruz kalınabilmektedir. Bu kategorilendirmeleri yapabilmek amacıyla 3 halk sağlığı uzmanı ve TTK'de çalışmakta olan 2 işyeri hekiminin görüşleri alınmıştır. Yine de farklı mesleki kategorilendirmeler yapılarak modelin başarıml oranının arttırılmaya çalışılması düşünülebilir.

6. SONUÇLAR

Sonuç olarak bu araştırma ülkemizde pnömokonyoz riskini öngörmek amacıyla yapay sinir ağlarının kullanılabilceğini araştıran ilk çalışma olması bakımından önemlidir. Ayrıca bu çalışma Türkiye'nin özel sektöre bağlı küçük maden ocakları haricinde taş kömürü üretiminin tamamının yapıldığı kamu kuruluşu olan TTK'nin tüm müesseselerindeki işçileri kapsamı sebebiyle, sonuçlarının genellenebilirliği ve modelin kullanım alanı açısından çok büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmada yaş, 1.grup işlerde çalışma süresi, yer altı gün sayısı, işe giriş yılı, toplam gün sayısı, sigara kullanma durumu, mesleki kategori gibi değişkenlerin pnömokonyoz riskini öngörmek amacıyla kullanılacak bir yapay sinir ağı modeline dahil edilebileceğini saptanmıştır. Modelin başarı oranı %95,3, sensitivitesi %90,3, spesifitesi %96,5, pozitif prediktif değeri %86,7, negatif prediktif değeri ise %97,5 bulunmuştur. Modele göre pnömokonyoz üzerinde en etkili girdi değişkeni yaş, ikincisi ise 1. grup işler olarak grupladığımız kömür üretim işlerinde çalışılan süredir. Her ne kadar yaşın etkisi tartışmalı olsa da önleme stratejileri oluştururken daha yaşlı grupların ve 1. grup işler dediğimiz kömür üretiminin yoğun olduğu panoayak üretim gibi işlerde çalışanların çalışma koşullarına yönelik düzenlemelerde bulunulması önerilebilir. Belirli kümülatif toz konsantrasyonlarına ulaşan işçilerin diğer iş gruplarına nakilleri sağlanabilir, periyodik muayeneleri sıklaştırılabilir. Ayrıca sadece çalışan işçilerin izlenmesinde değil, emeklilik süreci ve sonrasında işçilerin takibi ve risklerinin öngörülmesi sürecinde de geliştirilen bu model gibi tahmin araçlarının kullanılması fayda sağlayabilir. Mesleki hastalıklar için doğru tahmin modelleri, çalışanların maruz kaldıkları koşulları düzeltmek için daha sağlıklı ve güvenli programların planlanması ve uygulanmasına geçerli bir temel oluşturabilir. Yapay sinir ağları günümüzde hastalıkların tahmininde kullanılan en önemli araçlardan biridir. Etkili bir tedavisi olmayan kömür işçisi pnömokonyozu riskinin öngörülmesi; madencilerin stratejik olarak izlenmesi ve yönetilmesinde, ayrıca koruyucu sağlık programlarının geliştirilmesi ve iyileştirmesinde büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu alanda kullanmak amacıyla yapay sinir ağı modellerinin geliştirilerek işyeri hekimliği pratiğine entegre edilmesi ve işçilerin sağlık durumunu değerlendirmelerine yardımcı bir araç olarak kullanılması önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

1. Shen F, Yuan J, Sun Z, Hua Z, Qin T, Yao S, et al. Risk identification and prediction of coal workers' pneumoconiosis in Kailuan Colliery Group in China: a historical cohort study. *PLoS One*. 2013;8(12):e82181.
2. Wang X, Wu J, Yin S, Wang G, Guo Z, editors. Forecasting Incidence Age of Coal Workers' Pneumoconiosis Based on BP Neural Networks. *Proceedings of the 2nd International Conference on Green Communications and Networks 2012 (GCN 2012): Volume 1*; 2013: Springer.
3. Suarhana E, Moons KG, Heederik D, Meijer E. A simple diagnostic model for ruling out pneumoconiosis among construction workers. *Occupational and environmental medicine*. 2007;64(9):595-601.
4. Suarhana E. *Predicting occupational lung diseases*: Utrecht University; 2008.
5. Zhang Y, Zhang Y, Liu B, Meng X. Prediction of the length of service at the onset of coal workers' pneumoconiosis based on neural network. *Archives of environmental & occupational health*. 2020;75(4):242-50.
6. Wu J, Wang X, Guo X, Wang G, Su Y, Zhou L, editors. Forecasting incidence seniority of coal workers' pneumoconiosis based on BP neural network. *Proceedings of the 2nd International Conference on Green Communications and Networks 2012 (GCN 2012): Volume 4*; 2013: Springer.
7. Shen F, Liu H, Yuan J, Han B, Cui K, Ding Y, et al. Cost-effectiveness of coal workers' pneumoconiosis prevention based on its predicted incidence within the Datong Coal Mine Group in China. *PLoS One*. 2015;10(6):e0130958.
8. Scarisbrick D, Quinlan R. Re: Occupational respiratory disease in mining. *Occupational medicine (Oxford, England)*. 2005;55(1):72-3.
9. Wang J, Chan J. The applications of BP neural networks to disease prediction. *Shuxue Yiyaoxue Zazhi*. 2008;21(2):259-62.
10. Zhang L, Rong R, Li Q, Yang DM, Yao B, Luo D, et al. A deep learning-based model for screening and staging pneumoconiosis. *Scientific Reports*. 2021;11(1):1-7.
11. Okumura E, Kawashita I, Ishida T. Development of CAD based on ANN analysis of power spectra for pneumoconiosis in chest radiographs: effect of three new enhancement methods. *Radiological physics and technology*. 2014;7(2):217-27.
12. Okumura E, Kawashita I, Ishida T. Computerized classification of pneumoconiosis on digital chest radiography artificial neural network with three stages. *Journal of digital imaging*. 2017;30(4):413-26.
13. Okumura E, Kawashita I, Ishida T. Computerized analysis of pneumoconiosis in digital chest radiography: effect of artificial neural network trained with power spectra. *Journal of digital imaging*. 2011;24(6):1126-32.
14. Kondo H, Kouda T, editors. Detection of pneumoconiosis rounded opacities using neural network. *Proceedings Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference (Cat No 01TH8569)*; 2001: IEEE.
15. Zheng R, Deng K, Jin H, Liu H, Zhang L, editors. An Improved CNN-Based Pneumoconiosis Diagnosis Method on X-ray Chest Film. *International Conference on Human Centered Computing*; 2019: Springer.
16. Liu H, Tang Z, Yang Y, Weng D, Sun G, Duan Z, et al. Identification and classification of high risk groups for Coal Workers' Pneumoconiosis using an artificial neural network based on occupational histories: a retrospective cohort study. *BMC Public Health*. 2009;9(1):1-8.
17. Zhang M. *National System for Recording and Notification of Occupational Diseases: Practical guide*. Geneva: International Labour Office. 2013.
18. Tulchinsky TH, Varavikova EA. *The new public health*: Academic Press; 2014.

19. Akkurt İ. Mesleki Solunum Hastalıkları. Türk Tabipler Birliği Yayınları, Ankara. 2007.
20. Stellman JM. Encyclopaedia of occupational health and safety: International Labour Organization; 1998.
21. Çalışma T, Sağlık SGBİ, Müdürlüğü GG. Meslek Hastalıkları ve İş İle İlgili Hastalıklar Tanı Rehberi. Türkiye’de İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi Projesi, Ankara. 2011.
22. ALAGÜNEY ME, ATACAN SE, ATLI K, ÇALIK BAŞARAN N, BAŞARAN N, BİLEK Ö, et al. İş Sağlığı ve Güvenliği Meslek Hastalıkları. 2020.
23. Müdürlüğü TTKG. 2019 Yılı Taş Kömürü Sektör Raporu. Türkiye Taş Kömürü 2020.
24. ELİBÜYÜK M, GÜLER Y. Türkiye Taşkömürü Kurumu’nun Zonguldak İli Ekonomisine Etkisi. Zeitschrift für die Welt der Türken/Journal of World of Turks. 2015;7(1):137-59.
25. Arslanhan S, Cünedioğlu HE. Madenlerde yaşanan iş kazaları ve sonuçları üzerine bir değerlendirme. TEPAV (Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı). 2010.
26. Scott DF, Grayson RL, Metz EA. Disease and illness in US mining, 1983–2001. Journal of occupational and environmental medicine. 2004;46(12):1272-7.
27. Scheepers P, Micka V, Muzyka V, Anzion R, Dahmann D, Poole J, et al. Exposure to dust and particle-associated 1-nitropyrene of drivers of diesel-powered equipment in underground mining. Annals of occupational hygiene. 2003;47(5):379-88.
28. Bakke B, Stewart P, Ulvestad B, Eduard W. Dust and gas exposure in tunnel construction work. AIHAJ-American Industrial Hygiene Association. 2001;62(4):457-65.
29. Bråtveit M, Moen BE, Mashalla YJ, Maalim H. Dust exposure during small-scale mining in Tanzania: a pilot study. Annals of Occupational Hygiene. 2003;47(3):235-40.
30. Ross M, Murray J. Occupational respiratory disease in mining. Occupational medicine. 2004;54(5):304-10.
31. Güyagüler T, Durucan Ş. Ocak tozları. Yeraltı Kömür Madenciliğinde Çevre Sorunları ve Kontrol Yöntemleri seminer El Kitabı. 1986:14-5.
32. Yönetmeliği Tozla Mücadele, Sayısı Resmi Gazete. 28812, TC Resmi Gazete, Ankara. 2013.
33. Sengupta M. Mine environmental engineering: CRC Press; 1989.
34. EDİZ İG, BEYHAN S, YUVKA Ş. MADENCİLİKTE TOZLARA BAĞLI MESLEK HASTALIKLARI. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2001(002):111-20.
35. Mahdevari S, Shahriar K. A framework for mitigating respiratory diseases in underground coal mining by emphasizing on precautionary measures. Occupational Medicine & Health Affairs. 2016.
36. Enstitüsü İAT, Yavuz F. Kömür İşçisi Pnömonyoz Olgularında Belirlenen Maluliyet Oranlarının Değerlendirilmesi.
37. Yasalar T.C. 5510 sayılı sosyal sigortalar ve genel sağlık sigortası kanunu. Ankara: Resmi Gazete (26200 sayılı). 2006.
38. Organisation IL. ILO List of Occupational Diseases (revised 2010). International Labour Organization Geneva; 2010.
39. Sağlık Bakanlığı Sağlık İstatistikleri Yıllığı 2019. <https://dosyasb.saglik.gov.tr/Eklenti/23530,2015-yili29pdf.pdf?0> (Erişim Tarihi: 05.01.2021)
40. Kanunu İSG. 6331 Sayılı İş Sağlığı Güvenliği Kanunu. 2012.
41. Vidinel İ. Akciğer hastalıkları: Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi Yayınları; 1981.
42. Johnston J. Hazard Prevention and Control in the Work Environment: Airborne Dust. Protection of the Human Environment Occupational Health and Environmental Health Series, Geneva, 1999, World Health Organization WHO/SDE/OEH/99.14: English only. Annals of Occupational Hygiene. 2000;44(5):405-.
43. Cotes J, Steel J, Leathart G. Occupational lung disorders: Blackwell Scientific; 1987.

44. Zosky GR, Hoy RF, Silverstone EJ, Brims FJ, Miles S, Johnson AR, et al. Coal workers' pneumoconiosis: an Australian perspective. *The Medical Journal of Australia*. 2016;204(11):414-8.
45. Wagner GR, Organization WH. Screening and surveillance of workers exposed to mineral dust: World Health Organization; 1996.
46. Control CfD, Prevention. Pneumoconiosis and advanced occupational lung disease among surface coal miners--16 states, 2010-2011. *MMWR Morbidity and mortality weekly report*. 2012;61(23):431-4.
47. Attfield MD, Seixas NS. Prevalence of pneumoconiosis and its relationship to dust exposure in a cohort of US bituminous coal miners and ex-miners. *American journal of industrial medicine*. 1995;27(1):137-51.
48. Gregory JC. Case of peculiar black infiltration of the whole lungs, resembling melanosis. *Edinburgh medical and surgical journal*. 1831;36(109):389.
49. Shi P, Xing X, Xi S, Jing H, Yuan J, Fu Z, et al. Trends in global, regional and national incidence of pneumoconiosis caused by different aetiologies: an analysis from the Global Burden of Disease Study 2017. *Occupational and environmental medicine*. 2020;77(6):407-14.
50. Yu Y. A trend analysis on the national pneumoconiosis epidemics in 2003 [J]. *Chinese Occupational Medicine*. 2005;5.
51. CUI F-t, XU J, DING X-p, XU X-h, HUANG Z-j, WANG Y, et al. Analysis on epidemic situation of pneumoconiosis in Huaibei Mining Group from 1963-2012. *Occupation and Health*. 2014;2014:24.
52. Mo J, Wang L, Au W, Su M. Prevalence of coal workers' pneumoconiosis in China: A systematic analysis of 2001–2011 studies. *International journal of hygiene and environmental health*. 2014;217(1):46-51.
53. Parihar YS, Patnaik JP, Nema BK, SAHOO GB, MISRA IB, ADHIKARY S. Coal workers' pneumoconiosis: A study of prevalence in coal mines of eastern Madhya Pradesh and Orissa states of India. *Industrial health*. 1997;35(4):467-73.
54. Liang Y, Wong O, Fu H, Hu T, Xue S. The economic burden of pneumoconiosis in China. *BMJ Publishing Group Ltd*; 2003.
55. Xian W, Han B, Xia L, Ma Y, Xu H, Zhang L, et al. Focusing on the premature death of redeployed miners in China: an analysis of cause-of-death information from non-communicable diseases. *Globalization and health*. 2019;15(1):1-7.
56. Han L, Yao W, Bian Z, Zhao Y, Zhang H, Ding B, et al. Characteristics and trends of pneumoconiosis in the Jiangsu Province, China, 2006–2017. *International journal of environmental research and public health*. 2019;16(3):437.
57. Attfield M, Moring K. AN INVESTIGATION INTO THE RELATIONSHIP BETWEEN COAL WORKERS' PNEUMOCONIOSIS AND DUST EXPOSURE IN US COAL MINERS. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1992;53(8):486-92.
58. Kenny L, Hurley F, Warren N. Estimation of the risk of contracting pneumoconiosis in the UK coal mining industry. *Annals of occupational hygiene*. 2002;46(suppl_1):257-60.
59. Attfield MD. British data on coal miners' pneumoconiosis and relevance to US conditions. *American journal of public health*. 1992;82(7):978-83.
60. Attfield MD, Althouse RB. Surveillance data on US coal miners' pneumoconiosis, 1970 to 1986. *American journal of public health*. 1992;82(7):971-7.
61. Meyer J, Holt D, Chen Y, Cherry N, McDonald J. SWORD'99: surveillance of work-related and occupational respiratory disease in the UK. *Occupational Medicine*. 2001;51(3):204-8.
62. Congress U. Federal Coal Mine Health and Safety Act of 1969. *Public Law*. 1969;91(173):2917.
63. Naidoo R, Robins T, Seixas N. Estimation of the Prevalence and Elucidation of the Natural History of Chronic Obstructive Lung Disease and Pneumoconiosis among South

- African Coal Miners both Prior to and Subsequent to Leaving the Mines. Health 607 SIMRAC Report. Johannesburg: Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC); 2001.
64. Control CfD, Prevention. Pneumoconiosis prevalence among working coal miners examined in federal chest radiograph surveillance programs--United States, 1996-2002. MMWR Morbidity and mortality weekly report. 2003;52(15):336-40.
 65. dos S Antao V, Petsonk E, Sokolow L, Wolfe A, Pinheiro G, Hale J, et al. Rapidly progressive coal workers' pneumoconiosis in the United States: geographic clustering and other factors. Occupational and environmental medicine. 2005;62(10):670-4.
 66. Smith DR, Leggat PA. 24 years of pneumoconiosis mortality surveillance in Australia. Journal of occupational health. 2006;48(5):309-13.
 67. Soutar C, Hurley J, Miller B, Cowie H, Buchanan D. Dust concentrations and respiratory risks in coalminers: key risk estimates from the British Pneumoconiosis Field Research. Occupational and environmental medicine. 2004;61(6):477-81.
 68. Laney AS, Petsonk EL, Attfield MD. Pneumoconiosis among underground bituminous coal miners in the United States: is silicosis becoming more frequent? Occupational and environmental medicine. 2010;67(10):652-6.
 69. Laney AS, Attfield MD. Coal workers' pneumoconiosis and progressive massive fibrosis are increasingly more prevalent among workers in small underground coal mines in the United States. Occupational and environmental medicine. 2010;67(6):428-31.
 70. Bell JL, Mazurek JM. Trends in pneumoconiosis deaths—United States, 1999–2018. Morbidity and Mortality Weekly Report. 2020;69(23):693.
 71. Studies HDoRD. Work-related lung disease surveillance report: US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers ...; 1996.
 72. Collaborators GOCRRF. GBD 2016 occupational chronic respiratory risk factors collaborators. Global and regional burden of chronic respiratory disease in 2016 arising from non-infectious airborne occupational exposures: a systematic analysis for the global burden of disease study 2016. Occup Environ Med. 2020;77(3):142-50.
 73. Attfield M, Wood J, Antao V, Pinheiro G. Changing patterns of pneumoconiosis mortality-United States, 1968-2000 (Reprinted from MMWR, vol 53, pg 627-632, 2004). JAMA-JOURNAL OF THE AMERICAN MEDICAL ASSOCIATION. 2004;292(7):795-6.
 74. Altinöz H, Çelikkalkan C, Horasan GD, Hamsioğlu F, Cengiz N, Orbay H. Socio-demographic and clinical characteristics of turkish workers with pneumoconiosis. Central European journal of public health. 2016;24(3):231.
 75. Aydin H. Evaluation of the risk of coal workers pneumoconiosis (CWP): A case study for the Turkish hardcoal mining. Scientific research and essays. 2010;5(21):3289-97.
 76. Kurumu Sosyal Güvenlik. Sosyal Güvenlik Kurumu istatistik yıllıkları. 2017. Erişim adresi: http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/sgk/tr/kurumsal/istatistik/sgk_istatistik_yilliklari (Erişim Tarihi: 26.02.2021).
 77. Kurumu Sosyal Güvenlik. Sosyal Güvenlik Kurumu İstatistik Yıllığı. 2019. Erişim adresi: <https://dosyasb.saglik.gov.tr/Eklenti/40564,saglik-istatistikleri-yilligi-2019pdf.pdf?0> (Erişim tarihi: 26.02.2021).
 78. McCunney RJ, Morfeld P, Payne S. What component of coal causes coal workers' pneumoconiosis? Journal of occupational and environmental medicine. 2009;51(4):462-71.
 79. Özlü T, Metintaş M, Karadağ M, Kaya A. Solunum sistemi ve hastalıkları. 1. baskı. İstanbul: İstanbul Tıp Kitabevi. 2010.
 80. Onder M, Onder S. Evaluation of occupational exposures to respirable dust in underground coal mines. Industrial health. 2009;47(1):43-9.
 81. Ganguly S, Gangopadhyay S, Guha R. Exposure to respirable dust: case studies of Jharia and Raniganj coalfields. 2001.
 82. Xia Y, Liu J, Shi T, Xiang H, Bi Y. Prevalence of pneumoconiosis in Hubei, China from 2008 to 2013. International journal of environmental research and public health. 2014;11(9):8612-21.

83. Mohemaiti P, Patigul N, Reshalaiti A, sa Honglamijiang A. Characteristics of 3687 pneumoconiosis cases between 1985 and 2006 in Xinjiang Uyghur's Autonomous Region, China. *Occupational and environmental medicine*. 2011;68(11):860-.
84. Atış S. Mesleki Etkenler Solunum Sisteminde Nasıl Etkili Olurlar? Mesleki Çevrede Karşılaşılan İn hale Edilebilir Etkenlerin Sağlık Sorunları OLUşturabilmelerini Belirleyen Kişisel Faktörler
85. Kumar V, Cotran RS, Robbins SL, Crain BJ. Basic pathology. *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*. 1998;122:660-.
86. Safety NifO, Health. NIOSH Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Crystalline Silica. HEW (NIOSH) Pub. No. 75-120. US Department of Health, Education, and Welfare ...; 1974.
87. Control CfD, Prevention. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to coal mine dust. Washington, DC. 1995:95-106.
88. Vanhee D, Gosset P, Wallaert B, Voisin C, Tonnel A. Mechanisms of fibrosis in coal workers' pneumoconiosis. Increased production of platelet-derived growth factor, insulin-like growth factor type I, and transforming growth factor beta and relationship to disease severity. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 1994;150(4):1049-55.
89. Balmes JR. Occupational lung diseases. *Occupational and environmental medicine*. 1997:305-27.
90. ILO. Guidelines for the use of the ILO International Classification of Radiographs of Pneumoconioses, Revised Edition 2011. Occupational Safety and Health Series No 22. 2011.
91. Ruckley VA, Fernie JM, Chapman J, Collings P, Davis J, Douglas A, et al. Comparison of radiographic appearances with associated pathology and lung dust content in a group of coalworkers. *Occupational and Environmental Medicine*. 1984;41(4):459-67.
92. Wagner GR, Attfield M, Parker JE. Chest radiography in dust-exposed miners: promise and problems, potential and imperfections. *Occupational Medicine (Philadelphia, Pa)*. 1993;8(1):127-41.
93. Ghio AJ, Roggli VL. Diagnosis and initial management of nonmalignant diseases related to asbestos. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2005;171(5):527-.
94. Savranlar A, Altın R, Mahmutyazıcıoğlu K, Özdemir H, Kart L, Özer T, et al. Comparison of chest radiography and high-resolution computed tomography findings in early and low-grade coal worker's pneumoconiosis. *European journal of radiology*. 2004;51(2):175-80.
95. Didari V. A study of the respirable dust conditions of the Zonguldak coal mines, Turkey. *Mining Science and Technology*. 1988;7(2):167-72.
96. Gücü, Çalışma; Tespit, Meslekte Kazanma Gücü Kaybı Oranı. İşlemleri Yönetmeliği. Resmi gazete tarihi. 2008;11.
97. İş kanununa İlişkin Çalışma Süreleri Yönetmeliği. Resmi Gazete (Yayın Tarihi: 0604 2004 tarihli, 25425 sayılı). 2004.
98. Yedi Sağlık Kuralları Bakımından Günde Azami. Buçuk Saat veya Daha Az Çalışılması Gereken İşler Hakkında Yönetmelik. TC Resmî Gazete. 2013;28709:16.
99. Organization WH. Recommended health-based limits in occupational exposure to selected mineral dusts (silica, coal: report of a WHO study group [meeting held in Geneva from 6 to 12 March 1984]: World Health Organization; 1986.
100. Nابیev VV. Yapay zeka: insan-bilgisayar etkileşimi: Seçkin Yayıncılık; 2012.
101. Minal Dhankar NW. An Introduction to Artificial Intelligence. Pandey SK, editor2020. 105-8 p.
102. McCarthy J, Minsky ML, Rochester N, Shannon CE. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. *AI magazine*. 2006;27(4):12-.
103. Mintz Y, Brodie R. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*. 2019;28(2):73-81.

104. Öztemel E. Yapay sinir ağları. PapatyaYayincilik, Istanbul. 2003.
105. Gullu M, Yilmaz I. Outlier detection for geodetic nets using ADALINE learning algorithm. *Scientific Research and Essays*. 2010;5(5):440-7.
106. Kohonen T. An introduction to neural computing. *Neural networks*. 1988;1(1):3-16.
107. Drew PJ, Monson JR. Artificial neural networks. *Surgery*. 2000;127(1):3-11.
108. Eluyode O, Akomolafe DT. Comparative study of biological and artificial neural networks. *European Journal of Applied Engineering and Scientific Research*. 2013;2(1):36-46.
109. McCulloch WS, Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*. 1943;5(4):115-33.
110. Hebb DO. The organization of behavior; a neuropsychological theory. A Wiley Book in Clinical Psychology. 1949;62:78.
111. Öztemel E. Yapay Sinir Ağları: Papatya Yayıncılık; 2020.
112. Minsky M. Neural nets and the brain-model problem. Unpublished doctoral dissertation, Princeton University, NJ. 1954.
113. Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological review*. 1958;65(6):386.
114. Widrow B, Hoff ME. Adaptive switching circuits. Stanford Univ Ca Stanford Electronics Labs; 1960.
115. Nilsson NJ. Learning machines. 1965.
116. Minsky M, Papert S. Perceptron: an introduction to computational geometry. The MIT Press, Cambridge, expanded edition. 1969;19(88):2.
117. Kohonen T. Correlation matrix memories. *IEEE transactions on computers*. 1972;100(4):353-9.
118. Anderson JA. A simple neural network generating an interactive memory. *Mathematical biosciences*. 1972;14(3-4):197-220.
119. Werbos P. Beyond regression:" new tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph D dissertation, Harvard University. 1974.
120. Grossberg S. Direct perception or adaptive resonance? *Behavioral and Brain Sciences*. 1980;3(3):385-6.
121. Carpenter GA, Grossberg S, editors. Category learning and adaptive pattern recognition: A neural network model. Proceedings, Third Army Conference on Applied Mathematics and Computing, ARO Report; 1985.
122. Carpenter GA, Grossberg S. ART 2: Self-organization of stable category recognition codes for analog input patterns. *Applied optics*. 1987;26(23):4919-30.
123. Carpenter GA, Grossberg S. The ART of adaptive pattern recognition by a self-organizing neural network. *Computer*. 1988;21(3):77-88.
124. Fukushima K. Neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position-Neocognitron. *IEICE Technical Report, A*. 1979;62(10):658-65.
125. Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological cybernetics*. 1982;43(1):59-69.
126. Fukushima K, Miyake S, Ito T. Neocognitron: A neural network model for a mechanism of visual pattern recognition. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. 1983(5):826-34.
127. Rumelhart DE, Hinton GE, McClelland JL. A general framework for parallel distributed processing. *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*. 1986;1(45-76):26.
128. McClelland JL, Rumelhart DE, Group PR. *Parallel distributed processing: MIT press Cambridge, MA; 1986*.
129. Rumelhart DE, McClelland JL, Group PR. *Parallel distributed processing. Exploration in the Microstructure of Cognition, 1: Foundation. Volume 1, MIT Press/B radford Books. 1986;198(6)*.

130. Sarle WS. Neural networks and statistical models. 1994.
131. Renganathan V. Overview of artificial neural network models in the biomedical domain. Bratislavske lekarske listy. 2019;120(7):536-40.
132. Zilioniene D, De Luca M, Dell'Acqua G, Lamberti R, Biancardo SA, Russo F, editors. Evaluating Freeway Traffic Noise Using Artificial Neural Network. Environmental Engineering Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering ICEE; 2014: Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics
133. Aktaş E. Sağlık Hizmetleri Yönetiminde Bir Yapay Sinir Ağları Uygulaması: Fen Bilimleri Enstitüsü; 2004.
134. Dizdar EN, Koçar O. İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetim Sistemlerinde Risklerin Yapay Sinir Ağlarıyla Değerlendirilmesi. Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi. 2018;6(3):73-83.
135. Krenker A, Bešter J, Kos A. Introduction to the artificial neural networks. Artificial Neural Networks: Methodological Advances and Biomedical Applications InTech. 2011:1-18.
136. Öztemel E, Ağları YS. Papatya Bilim Yayınevi, 7. Sayı, İstanbul. 2006.
137. Jain AK, Mao J, Mohiuddin KM. Artificial neural networks: A tutorial. Computer. 1996;29(3):31-44.
138. Atalay M, Çelik E. Büyük veri analizinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamaları-artificial intelligence and machine learning applications in big data analysis. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 2017;9(22):155-72.
139. FIRAT A. Yapay sinir ağları ile yapısal sistemlerin analizi/Analyses of structural systems by artificial neural network. 2006.
140. Ergezer H, Dikmen M, Özdemir E. Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri. PIVOLKA. 2003;2(6):14-7.
141. Ahmed FE. Artificial neural networks for diagnosis and survival prediction in colon cancer. Molecular cancer. 2005;4(1):1-12.
142. Basheer IA, Hajmeer M. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. Journal of microbiological methods. 2000;43(1):3-31.
143. Schwarzer G, Vach W, Schumacher M. On the misuses of artificial neural networks for prognostic and diagnostic classification in oncology. Statistics in medicine. 2000;19(4):541-61.
144. Kattan MW. Comparison of Cox regression with other methods for determining prediction models and nomograms. The Journal of urology. 2003;170(6S):S6-S10.
145. Dreiseitl S, Ohno-Machado L. Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review. Journal of biomedical informatics. 2002;35(5-6):352-9.
146. SAATÇIOĞLU D, ÖZÇAKAR N. YAPAY SİNİR AĞLARI YÖNTEMİ İLE ARALIKLI TALEP TAHMİNİ. Beykoz Akademi Dergisi.4(1):1-32.
147. Hornik K, Stinchcombe M, White H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. Neural networks. 1989;2(5):359-66.
148. Welch RL, Ruffing SM, Venayagamoorthy GK, editors. Comparison of feedforward and feedback neural network architectures for short term wind speed prediction. 2009 International Joint Conference on Neural Networks; 2009: IEEE.
149. Forsström JJ, Dalton KJ. Artificial neural networks for decision support in clinical medicine. Annals of medicine. 1995;27(5):509-17.
150. Musavi MT, Ahmed W, Chan KH, Faris KB, Hummels DM. On the training of radial basis function classifiers. Neural networks. 1992;5(4):595-603.
151. Mehrazin A, Taghipour M, Ghabdian B, Soleimani H. Radial basis function in artificial neural network for prediction of bankruptcy. International Business Research. 2013;6(8):121.
152. Hopfield JJ, Tank DW. "Neural" computation of decisions in optimization problems. Biological cybernetics. 1985;52(3):141-52.

153. Kak S. A class of instantaneously trained neural networks. *Information Sciences*. 2002;148(1-4):97-102.
154. Zhang L, Luo J, Yang S. Forecasting box office revenue of movies with BP neural network. *Expert Systems with Applications*. 2009;36(3):6580-7.
155. Delen D, Sharda R, Kumar P. Movie forecast Guru: A Web-based DSS for Hollywood managers. *Decision Support Systems*. 2007;43(4):1151-70.
156. Baxt WG. Application of artificial neural networks to clinical medicine. *The lancet*. 1995;346(8983):1135-8.
157. Hart A, Wyatt J. Connectionist models in medicine: an investigation of their potential. *AIME 89: Springer*; 1989. p. 115-24.
158. Baxt WG, Skora J. Prospective validation of artificial neural network trained to identify acute myocardial infarction. *The Lancet*. 1996;347(8993):12-5.
159. Walker CR, Frize M. Are artificial neural networks “ready to use” for decision making in the neonatal intensive care unit?: commentary on the article by Mueller et al. and page 11. *Pediatric research*. 2004;56(1):6-8.
160. Astion ML, Wilding P. Application of neural networks to the interpretation of laboratory data in cancer diagnosis. *Clinical Chemistry*. 1992;38(1):34-8.
161. Fu LM, Fu-Liu CS. Multi-class cancer subtype classification based on gene expression signatures with reliability analysis. *FEBS letters*. 2004;561(1-3):186-90.
162. LeBlanc M, Kooperberg C, Grogan TM, Miller TP. Directed indices for exploring gene expression data. *Bioinformatics*. 2003;19(6):686-93.
163. Ball G, Mian S, Holding F, Allibone R, Lowe J, Ali S, et al. An integrated approach utilizing artificial neural networks and SELDI mass spectrometry for the classification of human tumours and rapid identification of potential biomarkers. *Bioinformatics*. 2002;18(3):395-404.
164. Pesonen E, Ohmann C, Eskelinen M, Juhola M. Diagnosis of acute appendicitis in two databases. Evaluation of different neighborhoods with an LVQ neural network. *Methods of information in medicine*. 1998;37(01):59-63.
165. Golub R, Cantu Jr R, Tan M. The prediction of common bile duct stones using a neural network. *Journal of the American College of Surgeons*. 1998;187(6):584-90.
166. Falk CT, Gilchrist JM, Pericak-Vance MA, Speer MC. Using neural networks as an aid in the determination of disease status: comparison of clinical diagnosis to neural-network predictions in a pedigree with autosomal dominant limb-girdle muscular dystrophy. *The American Journal of Human Genetics*. 1998;62(4):941-9.
167. Kwak N, Lee C. A neural network application to classification of health status of HIV/AIDS patients. *Journal of Medical Systems*. 1997;21(2):87-97.
168. Henson D, Spenceley SE, Bull D. Artificial neural network analysis of noisy visual field data in glaucoma. *Artificial Intelligence in Medicine*. 1997;10(2):99-113.
169. Littlejohns P, Ebrahim S, Anderson R. Treatment of adult asthma: is the diagnosis relevant? *Thorax*. 1989;44(10):797-802.
170. Gutermana H, Nehmadi Y, Chistyakov A, Soustiel JF, Feinsod M. A comparison of neural network and Bayes recognition approaches in the evaluation of the brainstem trigeminal evoked potentials in multiple sclerosis. *International Journal of Bio-Medical Computing*. 1996;43(3):203-13.
171. Bounds DG, Lloyd PJ, Mathew BG. A comparison of neural network and other pattern recognition approaches to the diagnosis of low back disorders. *Neural Networks*. 1990;3(5):583-91.
172. Tourassi GD, Floyd CE, Coleman RE. Acute pulmonary embolism: cost-effectiveness analysis of the effect of artificial neural networks on patient care. *Radiology*. 1998;206(1):81-8.
173. Tourassi GD, Floyd CE, Coleman E. Improved noninvasive diagnosis of acute pulmonary embolism with optimally selected clinical and chest radiographic findings. *Academic radiology*. 1996;3(12):1012-8.

174. Viktor H, Cloete I, Beyers N. Extraction of rules for tuberculosis diagnosis using an artificial neural network. *Methods of information in medicine*. 1997;36(02):160-2.
175. Zou Y, Shen Y, Liang S, Wang Y, Feng F, Xu K, et al. Artificial neural network to assist psychiatric diagnosis. *The British Journal of Psychiatry*. 1996;169(1):64-7.
176. Kahn Jr CE. From images to actions: opportunities for artificial intelligence in radiology. *Radiological Society of North America*; 2017.
177. Van der Waal I. Skin cancer diagnosed using artificial intelligence on clinical images. *Oral diseases*. 2018;24(6):873-4.
178. te Brake GM, Karssemeijer N, Hendriks J. Automated detection of breast carcinomas not detected in a screening program. *Radiology*. 1998;207(2):465-71.
179. Hu YH, Tompkins WJ, Urrusti JL, Afonso VX. Applications of artificial neural networks for ECG signal detection and classification. *Journal of electrocardiology*. 1993;26:66-73.
180. Srinivasan V, Eswaran C, Sriraam N. Approximate entropy-based epileptic EEG detection using artificial neural networks. *IEEE Transactions on information Technology in Biomedicine*. 2007;11(3):288-95.
181. Kunt F. Bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak Konya il merkezi hava kirliliği modellenmesi: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2014.
182. Kingston C. Neural networks in forensic science. *Journal of Forensic Science*. 1992;37(1):252-64.
183. Ashutosh K, Lee H, Mohan CK, Ranka S, Mehrotra K, Alexander C. Prediction criteria for successful weaning from respiratory support: statistical and connectionist analyses. 1991.
184. Dybowski R, Gant V, Weller P, Chang R. Prediction of outcome in critically ill patients using artificial neural network synthesised by genetic algorithm. *The Lancet*. 1996;347(9009):1146-50.
185. Dayhoff JE, DeLeo JM. Artificial neural networks: opening the black box. *Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society*. 2001;91(S8):1615-35.
186. Yuan C, Li G, Peihong Z, Li C, editors. *Artificial Neural Network Modeling of Prevalence of Pneumoconiosis among Workers in Metallurgical Industry-A Case Study*. 2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application; 2010: IEEE.
187. Elma Yonca AN. Zonguldak Kömür Havzasındaki Maden İşçilerinin Çalışma Koşulları: Kamu ve Özel Maden Ocaklarının Karşılaştırılması. *Çalışma Ortamı Dergisi*. 2017:29-31.
188. Gülduran E, Ergül Ş, Erkin Ö. Kömür işletmesinde çalışan işçilerin sağlık durumlarını ve sağlığın önemini algılamaları. *TAF Preventive Medicine Bulletin*. 2013;12(4):383-92.
189. Rıza KA. Kozlu Taşkömürü İşletme Müessesesindeki İşçilere Verilen Bireysel ve Grup Sigara Bırakma Müdahalelerinin Karşılaştırılması 2015.
190. Unalacak M, Altin R, Kart L, Tor M, Örnek T, Altunel H. Smoking prevalence, behaviour and nicotine addiction among coal workers in Zonguldak, Turkey. *Journal of occupational health*. 2004;46(4):289-95.
191. Aysan ME, Kablay S. Türkiye’de özelleştirmeler ve kömür madenciligi: soma’da maden işçisi olmak. *Ünye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi*. 2017;1(1):51-76.
192. Kanunu İş. 4857 Sayılı İş Kanunu. *Resmi Gazete*. 2003;10(2003):25134.
193. Er O, Yumusak N, Temurtas F, Tanrikulu AC, Abakay A. Chronic obstructive pulmonary disease diagnosis using radial based function neural network. *Electronic Letters on Science and Engineering*. 2009;5(2):1-8.
194. Er O, Temurtas F. A study on chronic obstructive pulmonary disease diagnosis using multilayer neural networks. *Journal of medical systems*. 2008;32(5):429-32.
195. Farhadian M, Mahjub H, Aliabadi M, Musavi S, Jalali M. Prediction of workers pulmonary disorder exposed to silica dust in stone crushing workshops using logistic

- regression and artificial neural networks techniques. *Jundishapur J Health Sci.* 2013;5(2):141-8.
196. Sedehi M, Mehrabi Y, Kazemnejad A, Hadaegh F. Comparison of artificial neural network, logistic regression and discriminant analysis methods in prediction of metabolic syndrome. *Iranian journal of endocrinology and metabolism.* 2010;11(6).
197. Mansour R, Eghbal K, Amirhossein H. Comparison of artificial neural network, logistic regression and discriminant analysis efficiency in determining risk factors of type 2 diabetes. 2013.
198. Green M, Björk J, Forberg J, Ekelund U, Edenbrandt L, Ohlsson M. Comparison between neural networks and multiple logistic regression to predict acute coronary syndrome in the emergency room. *Artificial intelligence in medicine.* 2006;38(3):305-18.
199. Ayoglu FN, Acikgoz B, Tutkun E, Gebedek S. Descriptive characteristics of coal workers' pneumoconiosis cases in Turkey. *Iranian journal of public health.* 2014;43(3):389.
200. Mamuya SH, Bråtveit M, Mashalla Y, Moen BE. High prevalence of respiratory symptoms among workers in the development section of a manually operated coal mine in a developing country: A cross sectional study. *BMC Public Health.* 2007;7(1):1-8.
201. Naidoo RN, Robins TG, Murray J. Respiratory outcomes among South African coal miners at autopsy. *American journal of industrial medicine.* 2005;48(3):217-24.

8. EKLER

EK 1: Veri Toplama Formu



T.C.
ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
Klinik Araştırmalar Etik Kurul Başkanlığı

TOPLANTI TARİHİ : 16/10/2019
TOPLANTI NO : 2019/16

KARARLAR :

- 6- Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Anabilim Dalı Başkanlığı'nın 2019-172-16/10 Protokol no'lu "Yapay Sınır Ağs ile Kömür İşçilerinde Pnömonyoz Risklerinin Öngörülmesi" konulu çalışmasının Etik Kurul İnkelerine uygun olduğuna,

Oy birliği ile karar verilmiştir.

EK 3: TTK İzin Yazısı

