

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KBRN FİLTRELERİ İÇİN AKTİF KARBON TABANLI
POLİVİNİLKORÜR POLİMERLERİN ELEKTROEĞİRME
YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Furkan KÜÇÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYASAL, BİYOLOJİK, RADYOLOJİK VE NÜKLEER SAVUNMA
ANABİLİM DALI

Danışman
Prof.Dr. Serdar KARAKURT

KONYA-2024

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KBRN FİLTRELERİ İÇİN AKTİF KARBON TABANLI
POLİVİNİLKLOİR POLİMERLERİN ELEKTROEĞİRME
YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU**

Furkan KÜÇÜK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYASAL, BİYOLOJİK, RADYOLOJİK VE NÜKLEER SAVUNMA
ANABİLİM DALI

Danışman
Prof.Dr. Serdar KARAKURT

Bu araştırma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 23202008 proje numarası ile desteklenmiştir.

KONYA-2024

ÖNSÖZ

Bu çalışmada kimyasal ajanların yarattığı tehdit ve risklere karşı kullanılan filtrelerin gelişen teknolojiyle entegre edilerek geleneksel filtrelerden farklı yapıda filtre yapısının gaz absorpsiyonunda kullanılabilirliği ele alınmıştır.

Çalışmam boyunca bilgi ve tecrübeleriyle beni aydınlatan sayın Prof.Dr. Serdar KARAKURT'a, maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme ve çalışmam boyunca her konuda yardım eden sevgili eşim Esra KÜÇÜK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenen çalışmam süresince her türlü ekipman, teçhizat ve analiz cihazlarının kullanımında yardımcı oldukları için Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi ile Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürü borç bilirim.

Furkan KÜÇÜK

Mayıs/2024

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR.....	i
ŞEKİLLER DİZİNİ	ii
TABLO DİZİNİ.....	iii
GRAFİK DİZİNİ.....	iv
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Genel Amacı.....	2
1.2. Araştırmanın Özel Amacı.....	4
1.3. Problemin Tanımı ve Önemi	4
1.4. KBRN Unsurları.....	5
1.4.1. Kimyasal Harp.....	6
1.4.2. Kimyasal Harp Tarihi.....	7
1.4.3 Kimyasal Harp Maddeleri	12
1.5. KBRN Kişisel Koruyucu Ekipmanları	44
1.5.1. Gaz Maskeleri	44
1.5.2. KBRN Koruyucu Elbiseleri	50
1.6. Aktif Karbon.....	54
1.7. Polivinil Klorür (PVC)	56
1.8. Elektroeğirme Yöntemi	57
1.9. Yüzey Alanı Ölçümleri.....	58
1.9.1. Langmuir Teorisi.....	59
1.9.2. BET Teorisi	60
2. GEREÇ VE YÖNTEM.....	62
2.1. Hammadde Seçimi ve Hazırlanması	62
2.2. Proses Seçimi	64
2.3. Aktifleştirici Maddenin Hazırlanması	64
2.4. Kimyasal Aktivasyon	64
2.5. Karbonizasyon.....	66
2.6. Yüzey Alanı Ölçümü Analizi	67
2.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi.....	68
2.8. Polivinil Klorür (PVC) Çözeltisinin Hazırlanması.....	69
2.9. Aktif Karbonun Şişirilmesi.....	70
2.10. Elektro Eğirme Cihazı İle Nanolif Yapının Kazandırılması.....	70

3. BULGULAR	72
3.1. Kimyasal Aktivasyon	72
3.2. Karbonizasyon	72
3.3. Aktif Karbonların BET Analizi	74
3.4. Aktif Karbonların SEM Analizi	75
3.5. Nanolif Yapının Optimum Şartları ve SEM Analizi	76
4. TARTIŞMA	79
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	83
6. Kaynaklar	85
7. EKLER	91
7.1. Turnitin Raporu	91
8. ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

KİS	: Kitle İmha Silahları
BET	: Brunauer-Emmett-Teller
SEM	: Scanning Electron Microscope
KBRN	: Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer
ZEKM	: Zehirli Endüstriyel Kimyasal Maddeler
BAL	: British Anti-Lewisite
LC ₅₀	: %50 Lethal Concentration
FFP	: Filtering Face Piece
WEL	: Workplace Exposure Limit

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kimyasal Harp Maddelerinin Sınıflandırılması.....	13
Şekil 1.2. Tam Yüz Maskesi.	46
Şekil 1.3. Filtre.....	48
Şekil 1.4. A Tipi KBRN Koruyucu Elbise.....	51
Şekil 1.5. B Tipi KBRN Koruyucu Elbisesi.	52
Şekil 1.6. C Tipi KBRN Koruyucu Elbisesi.	53
Şekil 1.7. C Tipi Kumaş Örneği.....	54
Şekil 1.8. Aktif Karbonun 3 Boyutlu Gösterimi	56
Şekil 1.9. Elektro Eğirme Yönteminin Akış Şeması.....	57
Şekil 1.10. Langmuir Grafiği.	60
Şekil 2.1. Fındık Kabuklarının Boyut Küçültmesi.....	63
Şekil 2.2. Aktivasyonu Tamamlanan Fındık Kabukları.....	65
Şekil 2.3. Etüvde Kurutma İşlemi.	65
Şekil 2.4. Karbonizasyon Örnekleri.....	66
Şekil 2.5. Karbonizasyon Sonucu Elde Edilen Aktif Karbon.	67
Şekil 2.6. BET Analiz Örneği İçin Boyutlandırılan Aktif Karbon	68
Şekil 2.7. SEM Analizi Sonucunda Elde Edilen Veriler.....	69
Şekil 2.8. Aktif Karbon Çözeltisi.....	70
Şekil 2.9. Elektro Eğirme Yöntemi.	71
Şekil 3.1. Karbonizasyon Sonucu Elde Edilen Aktif Karbon.	73
Şekil 3.2. Aktif Karbon SEM Analizi.	76
Şekil 3.3. Elde Edilen Nanolif Yapı.....	77
Şekil 3.4. Nanolif Yapının SEM Analizi	78

TABLO DİZİNİ

Tablo 1.1. Klor Gazının Özellikleri.....	16
Tablo 1.2. Fosgen Gazının Özellikleri.....	18
Tablo 1.3. Difosgen Gazı Özellikleri.....	19
Tablo 1.4. Kloropikrin Gazı Özellikleri	21
Tablo 1.5. Hardal Gazının Özellikleri.	25
Tablo 1.6. Levizit Gazı Özellikleri.....	27
Tablo 1.7. Tabun Gazı Özellikleri.	30
Tablo 1.8. Sarin Gazı Özellikleri.....	31
Tablo 1.9. Soman Gazı Özellikleri.	32
Tablo 1.10. Siklosarin Gazı Özellikleri.	33
Tablo 1.11. Vx Gazının Özellikleri.	34
Tablo 1.12. Hidrojen Siyanür Özellikleri.	37
Tablo 1.13. Siyanojen Klorür Özellikleri.	38
Tablo 1.14. Filtre Kodları ve Renkleri	49
Tablo 1.15. Filtre Mekanizmaları.	49
Tablo 1.16. Kimyasal Kirleticiler ve Faydalı Emprenyeler.....	50
Tablo 2.1. Fındık Kabuğu Analizi	62
Tablo 2.2. Fındık Kabuğu Selüloz Analizi	63

GRAFİK DİZİNİ

Grafik 3.1. Adsorpsiyon Grafiği.	74
Grafik 3.2. Desorpsiyon Grafiği.....	75



ÖZET

T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KBRN Filtreleri İçin Aktif Karbon Tabanlı Polivinilklorür Polimerlerin

Elektroegirme Yöntemi ile Üretimi ve Karakterizasyonu

Furkan KÜÇÜK

Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer Savunma Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi / Konya-2024

Ekonomik değeri yüksek doğal kaynakların giderek azalmasıyla birlikte küresel çaplı savaşlar ve savaşların etki alanı endişe verici boyutlara ulaşmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte savaş sanatlarının değişmesi, kullanılan mühimmatların etkilerini arttırmıştır. Kitle imha silahları (KİS) savaşlarda yüksek yıkım gücüne sahip mühimmatlar olarak sıkça kullanılsa da stratejik önemi olan kritik bölgelerde Kimyasal Harp Maddelerinin kullanılma potansiyeli her geçen gün artmaktadır. Günümüzde üçüncü dünya ülkelerinin dahi geliştirerek kullanabileceği Kimyasal Harp Maddeleri sadece savaş alanlarında değil terör ve kargaşa yaratmak amacıyla da kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı olası kimyasal harp saldırılarına karşı ferdi koruyucu teçhizat olarak kullanılmak üzere, hammaddesi biyokütle olan aktif karbonların üretilerek filtrelerde kullanıma uygunluğunu araştırmaktır. Ülkemizde ekonomik değeri çok düşük olan fındık kabukları ile farklı aktifleştirici kimyasalları ($ZnCl_2$, H_3PO_4 ve KOH) farklı derişimlerde (kütlece %20, %30 ve %40) karıştırarak kimyasal aktivasyon yöntemi uygulanmıştır. Aktive edilen fındık kabukları karbonizasyon için 900 °C sıcaklıkta kül fırınında 45 dakika işleme tabi tutularak aktif karbon elde edilmiştir. Aktif karbon örnekleri Yüzey Alanı Ölçümü (Schreiber ve ark) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (Kul ve ark) ile analiz edilerek filtre hammaddesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Üretilen aktif karbonların Yüzey Alanı Ölçümü analizleri sonucunda en yüksek yüzey alanı 522.69 m²/g olarak bulunmuş ve Taramalı Elektron Mikroskobu ile incelenerek oluşan yapı gözlenmiştir. Aktif karbonun SEM görüntülerinde istenilen yapının oluştuğu gözlenmiştir. BET analizi ve SEM görüntüleri incelendiğinde optimum şartların; kütlece %30'luk $ZnCl_2$ karışımı ile kimyasal aktivasyonu gerçekleştirildikten sonra kül fırınında 900 °C'de 45 dakika karbonizasyon yapılarak elde edilen aktif karbon örneğinin olduğu belirlenmiştir. Üretilen aktif karbonun kimyasal harp saldırılarında koruyucu önlem olarak filtre hammaddesi olarak kullanılabilecek yapıda yeterli yüzey alanına sahip olduğu, sonucuna varılmıştır. Üretilen aktif karbonlar filtre yüzeyi oluşturmak amacıyla polivinilklorür ile çözelti oluşturacak şekilde gerekli işlemlere tabi tutulduktan sonra elektro egirme işlemine tabi tutuldu. Elektro egirme süreci sonunda istenilen yapıda filtre tabakaları üretilerek SEM analizi yapılmıştır. SEM analizi sonrasında üretilen nanofiber yapının uygun polimerler çözeltileriyle filtre tabakası olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon; Elektro egirme; Filtre; Kimyasal harp maddeleri; Koruyucu teçhizat.

SUMMARY

T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Production and Characterization of Activated Carbon-Based Polyvinylchloride Polymers for CBRN Filters by Electrospinning Method

Furkan KÜÇÜK

Department of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defense

MASTER THESIS / Konya-2024

With the diminishing economic value of high-value natural resources, global-scale wars and the sphere of influence of conflicts have reached alarming proportions. The evolution of warfare, coupled with advancing technology, has increased the impact of weaponry. While weapons of mass destruction (WMDs), such as chemical warfare agents, are frequently employed for their high destructive power in conflicts, the potential use of Chemical Warfare Agents in strategically critical regions is growing. In today's world, Chemical Warfare Agents, which even third-world countries can develop and use, are not only used in battlefields but also for the purpose of terrorism and creating chaos. The aim of this study is to investigate the suitability of activated carbons, derived from biomass with a focus on hazelnut shells, as individual protective equipment against potential chemical warfare attacks by producing them for use in filters. Different activating chemicals (ZnCl_2 , H_3PO_4 , and KOH) were mixed with hazelnut shells, which have low economic value in our country, at different concentrations (mass 20 %, 30 %, and 40 %), and a chemical activation method was applied. The activated hazelnut shells were subjected to a 45-minute treatment at 900 °C in a muffle furnace for carbonization to obtain activated carbon. The activated carbon samples were analyzed using Brunauer–Emmett–Teller (Schreiber ve ark) surface area measurement and Scanning Electron Microscopy (Kul ve ark) to examine their suitability as filter materials. The highest surface area, 522.69 m²/g, was found as a result of BET analysis of the produced activated carbon, and the structure formed was observed through SEM. Upon analyzing BET results and SEM images, it was determined that the optimal conditions involved the chemical activation with a 30 % ZnCl_2 mixture by mass, followed by carbonization at 900 °C for 45 minutes in a muffle furnace. The produced activated carbon was found to have a sufficient surface area suitable for use as a filter material for protective measures against chemical warfare attacks. The produced activated carbons were electrospun after being subjected to the necessary processes to form a solution with polyvinylchloride in order to create a filter surface. At the end of the electrospinning process, filter layers with the desired structure were produced and SEM analysis was performed. After SEM analysis, it was concluded that the nanofiber structure produced could be used as a filter layer with suitable polymer solutions.

Keywords: Activated carbon; Chemical warfare agents; Electrospin; Filter; Protective equipment

1. GİRİŞ

Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer (KBRN) tehlikelerin gerçekleşebileceği durumlara karşı alınan önlemlerin tümü KBRN savunmasını oluşturan temel prensipleri ortaya koyar (Calder ve Bland 2018). Bu prensipler; olay öncesi, olay esnası ve olay sonrası olmak üzere üç safha halinde değerlendirilerek olası KBRN olaylarına karşı hazırlıklı olunmasını ve olay sonrasında planlanacak prosedürlerin ön çalışmasının yapılmasına olanak sağlar. Olay öncesi KBRN tehlikelerinin tanımlanarak risklerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ile hazırlık yapılması en önemli safhayı oluşturmaktadır. KBRN olayları öncesi istihbaratı bilgilerin değerlendirilerek tedbir alınması başta olmak üzere olay öncesi safha ile hazırlık seviyesi artırılması ana hedeftir. KBRN olayları sahip olduğu özellikler sebebiyle büyük çapta yıkımlara sebep olması ferdi bazda değil ülke çapında önlemleri almayı zorunlu tutmakla beraber multidisipliner yaklaşımla müşterek çalışmayı zorunlu kılmaktadır. Olay öncesi çalışmalarla toplumun bilinçlendirilmesi kritik değer taşımaktadır. KBRN herkese uzak bir terim olarak gelse de büyük kitleleri etkileyeceği için farkındalık kazanılması KBRN saldırılarına hazırlığın en temel yapısını oluşturmaktadır. KBRN teçhizatlarının tam ve hazır bulundurulması ile KBRN durum farkındalıkları kapsamında ulusal KBRN eylem planı oluşturulması koordinasyonun gelişmesini sağlar. Yapılacak tatbikatlar ve yaşanmış KBRN olayları analiz edilerek olay esnasında uygulanacak prosedürlerin geliştirilmesi ile istenilen seviyeye ulaşılacağı öngörülmektedir (Oğur ve Cantürk 2022).

Olay esnasında, personel ve teçhizatın asgari seviyede kirliliğe maruz kalması için yapılan uygulamalar ile zaiyatın asgari seviyede kalması istenir. Bu safhada KBRN olaylarına müdahalede bulunan kamu kurum ve kuruluşları ile sivil toplum kuruluşları arasındaki koordinasyon ve iletişim ağının kurulması en zorlayıcı kısım olarak gözükmektedir. Çalışma şartlarının zor olmasının yanı sıra teçhizatın yeterli olması, olay esnasında sakin kalarak gerekli müdahalenin yapılması, ilk yardım esaslarına hâkim olunması ve teknolojik gelişmelerin takip edilerek KBRN teçhizatlarına entegre edilmesi müdahaleyi etkin şekilde yapmayı mümkün kılar. Kirlilik sınırlarının belirlenmesi ve meteorolojik şartların göz önünde tutularak KBRN raporlarının oluşturulması ile personel ve teçhizat güvenliği için kritik önlemler alınmaktadır. Kirli bölgeden yaralıların çıkartılması ve ilk yardım müdahalesinin

yapılarak kapsamlı tedavilerinin yapılması için hastaneye sevk edilmesi kirliliğin yayılmasına sebep olacağı için KBRN durumlarına hazırlık yapılmasını ve hazır bulunuşluluk seviyesini geliştirmeyi gerekli kılmaktadır (Ütük 2018).

Olay sonrasında uygulanan dekontaminasyon prosedürleri ile kirliliğin ihmal edilebilir seviyeye getirilmesi hedeflenir. Bu safhada KBRN olayının çeşidi önemli değişiklikler sağlamaktadır. Kimyasal saldırılarda dekontaminasyon amacı ile kalsiyum hipoklorit ve sodyum karbonat gibi kimyasal temizleme maddeleri kullanılırken biyolojik ve radyolojik kirliliklerde farklı temizleme maddeleri kullanılmaktadır (Khan ve ark 2013). Harp maddesinin türü kirlilik alanını da doğrudan etkileyeceği için dekontaminasyon yöntemini de değiştirmektedir. Gelişen teknoloji ile robotik sistemlerin kullanılarak; temizleme işlemlerinde insan unsurunun çıkarılması ve geniş alanları hızlı şekilde dekontamine etmek hedeflenmektedir. Kirliliğin kontrol altına alınmasının yanı sıra KBRN unsurunun bertarafı da kritik önem taşımaktadır. Yine bu safhada müşterek çalışma prensibi devreye girerek kirlilik uygun bertaraf yöntemi ile çevreye tehlike oluşturmayacak şekilde imhası yapılır (İstanbulluoğlu 2010).

KBRN savunmasında kirliliğin ve zayıtın sıfıra indirilmesi beklenen bir yaklaşım olmamakla beraber kirliliğin ve bu kirliliğe bağlı etkilerin asgari seviyede tutulması hedeflenir (Dökmeci ve Akduman 2022).

1.1. Araştırmanın Genel Amacı

Dünyada meydana gelen siyasi anlaşmazlıklar, ekonomik krizler, savaşlar, iç karışıklıklar, göçler, terör olayları ve salgın hastalıklar ülkelerin olumsuz etkilenmesine zemin hazırlamaktadır. Bu olaylar, transit geçiş sahasında bulunan, kıtaları birbirine bağlayan ve çok kutuplu sosyal yapıya sahip ülkeleri derinden etkileyerek daha fazla zarar görmesine sebep olabilmektedir. Türkiye, stratejik konumu gereği dünyada meydana gelen olaylardan etkilenen ve yakın ilişkiler kurduğu Orta Doğuda aktör olarak olaylara müdahale eden ülkelerin başında yer almaktadır. Türkiye'nin önemli ulaşım yolları üzerinde bulunması, Asya ile Avrupa'nın kesişim noktasında yer alması ve komşu ülkelerin sahip olduğu KBRN tehditleri değerlendirildiğinde KBRN risk haritasının tehlikeli seviyede olduğu bilinmektedir. Suriye'deki siyasi karışıklıkların yanı sıra aktör ülkelerin bu bölgedeki

ıkar atışmaları Suriye'yi potansiyel tehlike haline getirmektedir (Ekşi 2016). Nitekim bölgede birçok kez meydana gelen kimyasal silah saldırıları neticesinde risk ve tehditler artarak devam etmektedir (Miş ve zdemir 2013). Ülkemiz sadece kimyasal değil nükleer tehlikelerle de karşı karşıyadır. Metsamor Nükleer Güç Santralinde yaşanacak kasten veya kazaen olay neticesinde Türkiye'nin etkileneceği kesindir. Bu tehlikenin boyutları üzerine çalışmalar yapılırsa da ortak kanaat sadece Türkiye'nin değil komşu Azerbaycan ve diğer yakın ülkelerin de olaydan etkileneceği yönündedir (Kindap ve ark 2009). Biyolojik tehditler ise günümüz şartlarında tercih edilmesi beklenen, kullanan ülke veya kişinin belli olmadığı ve geniş kitleleri etkileyerek savaşta üstünlük elde edilmesini sağlayan en ucuz KBRN maddesidir. Biyolojik harp maddelerinin üretilmesinin kolay ve ucuz olması lkemizin KBRN risk haritasında yerini almaktadır (aykırın 2023). Özellikle kimyasal ve biyolojik maddelerin kolay elde edilebilir olması, geliştirilerek etki çapının artırılabilmesi, kalıcı olması gibi sebeplerle terör örgütleri tarafından kullanılma potansiyeli de oldukça fazladır. Türkiye'nin KBRN risk haritasının ciddi tehlikeleri barındırması sebebiyle KBRN hazırlık seviyesinin geliştirilmesi ve farkındalık kazandırmak oldukça kritik öneme sahiptir. Ülkemizin komşuları ve jeopolitik konumu ele alındığında mevcut kimyasal harp maddeleri, kimyasal silahlar, Zehirli Endüstriyel Kimyasal Maddeler (ZEKM) ve potansiyel terör unsurları açısından ülkemizin kimyasal saldırılara, kazalara veya kara propaganda yapılarak KBRN unsurlarının kullanıldığına dair iftiralara maruz kalabileceği gerçeğini canlı tutmaktadır (Ekşi 2016).

Çalışma kapsamında kimyasal risk değerlendirmesi; kimyasal silahlar, kimyasal ajanlar, ZEKM ve kimyasal terörizm risk ve tehlikeleri temel alınarak koruyucu önlemler kapsamında yapılabilecek çalışmalar ile sahada yaşanan aksaklıklar değerlendirilmiştir. Halihazırda kullanılan KBRN koruyucu teçhizatları değerlendirildiğinde genellikle aktif karbon ihtiva eden teçhizatların kullanıldığı görülmektedir (Khan). Aktif karbonun yüksek absorbe etme kapasitesi, kolay elde edilmesi ve hammadde kolaylığı gibi birçok faktörden dolayı KBRN tehizatlarında ana malzeme olarak tercih edilmesini sağlamaktadır (Gorzowska-Sobas ve Bjrgo 2015). KBRN kişisel koruyucu teçhizatları kapsamında en elzem malzemenin KBRN maske takımı olduğu görülmektedir (Simeonova ve Hylak 2015). KBRN maskelerine erişimin bazı kontrollere tabi olması sivil personelin koruyucu maskeye sahip olmasını

zorlaştırmaktadır. Çalışmanın başlama amacı kimyasal olaylarda kullanılmak üzere basit yapıda ve ucuz maske filtre yapısının geliştirilmesidir.

1.2. Araştırmanın Özel Amacı

Türkiye'nin mevcut riskleri değerlendirilerek hazırlanan ve 01.10.2020 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanan; “Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer Tehdit ve Tehlikelere Dair Görev Yönetmeliği” yurt içinde veya yurt dışında meydana gelip ülkemizi etkileyebilecek kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer tehdit ve tehlikelere karşı insan sağlığı ve çevreye yönelik zararın önlenmesi veya en aza indirilmesi için ilgili kurum ve kuruluşların ve sivil asker iş birliği çerçevesinde de Türk Silahlı Kuvvetlerinin olay öncesi, sırası ve sonrasına ilişkin görev ve sorumlulukları ile gerekli iş birliği ve koordinasyonun esaslarını kapsamaktadır. Yönetmelik incelendiğinde; Türk Silahlı Kuvvetlerinin KBRN olaylarına müdahale konusunda önemli görev ve sorumlulukları bulunmaktadır. Aynı zamanda Türk Silahlı Kuvvetleri, KBRN saldırılarına karşı sıcak temas olasılığı en yüksek risk grubunu oluşturmaktadır. KBRN olaylarında keşif ve temizleme faaliyetlerinde de imkân, kabiliyet ve tecrübesi bulunan TSK personelinin KBRN maskelerine ihtiyacı zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda gerekli adımlar atılarak tedarik zinciri oluşturulsa da sivil personelin de dahil olduğu KBRN saldırılarında yeterli maske desteğinin yerli ve milli imkanlarla sağlanması gerekmektedir (İnanır ve Deste 2021). Ülkelerin uyguladığı ambargolar da düştüğünde istenilen zamanda yeterli maske desteğinin sağlanması maksadıyla çalışma yapılması planlanmıştır.

Çalışmanın özel amacı; Türk Silahlı Kuvvetleri Personelinin kimyasal saldırı veya kazalarda kullanacağı, basit yapıda, üretimi kolay ve ucuz hammaddeye sahip KBRN maskesi ve filtresi geliştirmektir. Bu çerçevede mevcut KBRN filtrelerinden farklı olarak tek katmandan oluşan, homojen aktif karbon dağılımında, daha uzun süre koruma kapasiteli, portatif ve hafif yapıya sahip filtre yapısının geliştirilmesi hedeflenmiştir.

1.3. Problemin Tanımı ve Önemi

KBRN gerçeği her geçen gün daha tehlikeli hal alırken ferdi korunma önlemleri en kritik önlem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizin KBRN gerçeğine karşı yeterli hazırlığının bulunmaması, terör örgütlerinin KBRN tehditlerine kolay

ulaşabilmesi gibi birçok sebeple ferdi koruyucu teçhizat kapsamında her ferdin maskeye sahip olması gerekmektedir (şahin ve Cengiz 2021). Ancak bunun mümkün olmadığı bilinmekle beraber maske ve sivillerin filtreye erişiminin olmaması kimyasal kirliliklerde sivillerin potansiyel tehlikede olduğunu gözler önüne sermektedir.

Ülkemizde retimi yapılan birçok maddenin artığı olan biyoktller (fındık kabuğu, ceviz kabuğu, pirina vb.) genellikle yakma maddesi olarak kullanılarak verimsiz bir yakma süreci ile doğaya zararlı şekilde değerlendirilmektedir (Karayılmazlar ve ark 2011). KBRN filtrelerinin hammaddesi olan aktif karbonun biyoktle ile uygun prosesler kullanılarak üretilmesi, katma değer kazandırılması ve sadece KBRN filtrelerinde değil sanayide de kullanımı bulunan filtre sistemlerine entegre edilmesinin yerli ve milli kaynakların değerlendirilmesi hususunda önemli getiri sağlayacağı düşünülmektedir.

Sahada kullanılan aktif karbon tabanlı maske setleri belli düzeyde koruma sağlayarak mevcut durumda kullanılsa da birçok dezavantajı veya geliştirilmesi gereken özellikleri bulunmaktadır. Mevcut KBRN filtre sistemleri incelendiğinde; filtre ömrünün tayin edilememesi, kontamine havayı szen aktif karbonların gelişigüzel bulunması, kimyasal harp maddelerinin hepsine koruma sağlayamaması, çok eski teknoloji ile üretilerek geliştirilmemesi, absorbe kabiliyeti biten filtre kartuşunun çıkartılarak değiştirilmesi ve sadece kimyasal harp maddelerine karşı önemli ölçüde koruyuculuğu olması KBRN filtrelerinin geliştirilmesi için gerekli çalışmaları elzem kılmaktadır (zdemir ve ark 2001).

KBRN filtre sistemleri kişisel koruyucu önlemlerin en temel safhasını oluşurmaktadır. Bu ihtiyacın anlaşılabilmesi için tehdit unsurlarının özellikleri bilinmelidir.

1.4. KBRN Unsurları

KBRN maddeleri; insanları öldürmek, yaralayarak saf dışı bırakmak, ikmal kanallarına engel olmak, teçhizata zarar vermek, personeli belli bölgelere kanalize etmek, ekonomik önemi olan yerlerin kullanımını engellemek, içme sularını kirletmek, besin kaynaklarına zarar vermek, terör ve kargaşa yaratmak maksadıyla kullanılan maddelerdir (Bulman 2011). Her ne kadar askeri açıdan önem taşısa da sivillerin de KBRN maddelerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilendiği bilinmektedir. Bilgi

eksikliği, teçhizat yetersizliği ve koruyucu önlemlerin alınamaması sebebiyle siviller KBRN saldırılarından beklenenden daha fazla etkilenmektedir (Ivanova ve Sandler 2007).

KBRN maddelerinin kullanım amacı madde türüne göre değişiklik gösterse de kullanılan bölgedeki etkileri benzerdir. KBRN maddeleri içerisinde en tehlikeli yıkıcı etkiye sahip alanı nükleer maddeler oluşturmaktadır (Lovins ve ark 1979). Ancak nükleer maddelerin üretim maliyeti, sahip olunması gereken teknolojik alt yapı ve hammadde gibi özellikleri değerlendirildiğinde en pahalı yöntem olduğunu söyleyebiliriz. Günümüz harp sanatında dünya genelinde etki gösteren, kullananın belirsiz olduğu, nispeten düşük maliyetli ve bulaşıcı özellik gösteren biyolojik maddelerin kullanılması daha gerçekçi senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır (Roffey ve ark 2002). Ancak ülkelerin sahip olduğu sanayi potansiyeli ve kimyasal madde stokları düşünüldüğünde kimyasal harbin ülkeler için kolay ulaşılabilen potansiyel tehdit olduğunu görmekteyiz (Chauhan ve ark 2008).

KBRN saldırılarının yıkıcı etkisi ve nesiller boyu aktarılabilen yapı bozuklukları sebebiyle birçok uluslararası anlaşma yapılmışsa da KBRN maddelerinin kullanımının tamamen bittiğini söyleyemeyiz. Ülkelerin mevcudiyetine yapılacak saldırılarda KBRN unsurlarını kullanacağına dair söylemleri KBRN tehdidini gündemde tutmaktadır.

1.4.1. Kimyasal Harp

Kimyasal harp maddeleri sahip olduğu özellikler sebebiyle savaş alanında ciddi avantajlar sağlayarak stratejik kullanımı ile savaşların sonucuna dolaylı olarak etki edebilen, üretimi ve geliştirilmesi kolay toksik maddelerdir. Geniş alanları etkileyerek bölge kullanımının engellenmesi, tahriş etkisi ile personelde fizyolojik ve psikolojik tahribat yaratması harp alanındaki önemli özelliklerindendir (Black 2016). Aynı zamanda kimyasal silahların özel atma vasıtalarına ihtiyaç duymadan kullanılması ve sanayide kullanılan kimyasallar ile sentezlenebilmesi sayesinde birçok ülkenin kimyasal silah potansiyeline sahip olduğu gerçeğini ortaya koyar.

1.4.2. Kimyasal Harp Tarihi

Varoluşun temel ihtiyaçlarından biri olan besin bulma arayışı eski zamanlardan bu yana insanoğlunun en büyük uğraşlarından biri olmuştur. Bu uğraş kimyasal harbin ilk kullanımlarını ve temellerini oluşturmaktadır. Av hayvanlarını hızlı şekilde öldürmek maksadıyla; günümüzde de bazı ilkel kabilelerin kullandığı ok zehri tarihte kullanılan ilk kimyasal ajan olarak yer almaktadır. Ok zehri insanların tecrübeleri ile edindikleri bilgi neticesinde zehirli kurbağaların derisinde bulunan toksik mukus tabakasının, yılan zehrinin ve akrep zehrinin ok ucunu sürülmesiyle kullanılmıştır. Bununla birlikte bazı zehirli bitki ve ağaçların sıvıları da benzer şekilde ok ucuna sürülerek av hayvanlarına karşı kullanılmıştır (Black 2016).

Ok zehrinin ilk kullanım amacı av hayvanlarını öldürmek olsa da topluluklar arasında başlayan savaşlarda kullanılması uzun sürmemiştir. Temiz içme sularını ve besin kaynaklarını kirleterek toksik maddelerin kullanılması ile toksik buhar ve duman kullanımı tarihte sıkça karşımıza çıkmaktadır. M.Ö 2000’de Hintlilerin düşman askerlerini rahatsız eden toksik buharların savaş alanında kullandığı ve “ruh avcısı sisi” olarak adlandırılan arsenik içerikli gazların içeriklerine dair kaynaklar bulunmaktadır (Salem ve ark 2019).

Su kaynaklarının zehirli bitkilerle veya hayvan ölüleriyle kirletilerek kullanımı da tarihte rastlanan ajan kullanımlarındandır. Asurluların M.Ö 600’de çavdar otu ile suları zehirleyerek savaş alanında üstünlük elde ettikleri, M.Ö 590’daki Cirrha kuşatmasında nehir suyunun kirletilerek düşman askerlerinin diyare olmasıyla mağlup olmaları tarihte yaşanan su zehirlenmelerine örneklerdir (Şahin 2023).

Peloponez Savaşında (M.Ö 431 - 404) geniş surların aşılammaması ve savaş alanının özellikleri sebebiyle kimyasal ajan kullanımı uygun yöntemler arasında yer almıştır. Kömür, zift ve kükürt karışımı bulunan ahşap kabın tutuşturularak zehirli duman yayılımının yapılması ve temiz su kaynak yolları ile erzak girişinin olmaması sebebi ile yaşanan veba salgını savaşın gidişatını değiştirerek stratejik üstünlük sağlamıştır (Richardt ve Sabath 2013).

Çinde Mohist rahiplerinin yanan hardal ve diğer zehirli bitkilerin yakılarak tünellere körük vasıtasıyla yönlendirmesi suretiyle tünel kuşatmalarına karşı

koymaları zehirli bitkilerin savaş alanında stratejik kullanımlarındandır (Morton 2011).

Bizanslılar özkütlesi düşük, deniz üzerinde yanabilen ve kontrol edilmesi oldukça güç olan “Rum Ateşi” olarak tarihe geçmiş sıvı formda yanıcı kimyasal karışımı düşman askerline karşı kullanmıştır. İçeriği tam olarak bilinmese de; nafta, niter ve kükürtten sentezlendiği düşünülmektedir (Patitsa ve Chalaris 2016).

Çinliler 960 - 1279 yıllarında arsenik dumanı kullanmış, Venedikliler on beşinci ve on altıncı yüzyılda su kuyularını, tahıl stoklarını ve besi hayvanlarını kirletmek için içi zehir dolu sandıklar kullanmıştır (Tong ve ark 2021).

Moğolların milattan sonra 1000 yıllarında kükürt, nitrit, yağ, akonit, toz kömür, balmumu ve reçineden yapılmış ortalama 5 kilogramlık gaz bombalarının kullanımı harp alanında Moğolların lehine sonuçlanmıştır (Yunming 1986).

Otuz Yıl Savaşları sırasında (1618 - 1648) kimyasal kirlilik unsuru olarak koku bombaları kullanılmıştır. Koku bombaları hayvan toynaklarından, boynuzlardan, ziftle karıştırılmış asafoetida ile üretilerek savaş alanında kullanılmıştır. Bu savaştan 3 yıl sonra Almanlar ve Fransızlar arasında Strasbourg Antlaşması imzalanmıştır. Bu antlaşma kimyasal ajan kullanımının yasaklanmasına yönelik ilk uluslararası antlaşma olarak tarihe geçmiştir (Salem ve ark 2019).

Kimyasal harp maddelerinin modern anlamda büyük ölçekli ilk kullanımı; I. Dünya Savaşı’nda (1914 - 1918) kimyasal maddelerin zehirleyici etkilerinden faydalanılarak düşman askerleri üzerinde fiziksel, psikolojik ve fizyolojik etkiler meydana getirmek suretiyle harp alanında önemli üstünlük sağlamaları ile Almanlar tarafından kullanılmıştır. Savaş alanında kimyasal ajan olarak klorin dolu variller rüzgâr altı istikametinde bulunan düşman askerlerine karşı kullanılmıştır. Kimyasal ajanların ilk büyük ölçekli kullanımı olması sebebiyle düşman askerler bu gazdan etkilenerken mevzilerden çekilmek zorunda kalmış ve stratejik olarak önemli yerler alınmıştır. Kimyasal maddelerin harp alanındaki yıkıcı etkisi ülkelerin iştahını arttırarak kimyasal harbin temelleri atılmıştır (Lukey ve ark 2019).

1917’de Belçika’nın Ypres yakınlarında Almanlar tarafından kullanılan hardal gazı savaşın kuvvet çarpanını değiştirerek beklenmedik etki oluşturmuştur. Bu saldırı

sonucunda 3 hafta içinde 15.000 düşman askerinin etkilenmesine neden olmuştur. Hardal gazının kullanılması ile ferdi koruyucu ekipmanların yetersiz kalmasıyla deri koruması için de ferdi koruyucu teçhizat tasarımları yapılmaya başlanmıştır. Kimyasal maddelerin insanlar üzerindeki etkileri ve kimyasal maddelerin geliştirilerek daha uzun süre kirliliğe sebep olmaları koruyucu ekipmanların üretilmesine sebep olarak harp alanında kullanımına neden olmuştur. Ferdi koruyucu ekipmanların üretilerek geliştirilmesi konusunda da önde gelen ülke Almanya olmuştur. Alman Fritz Haber, kimyasal maddeler hakkında detaylı çalışmalar yaparak kimyasalların risk değerlendirmesi ve toksisitesi hakkında detaylı bilgi veren Haber Yasasını geliştirmiştir (Lukey ve ark 2019). Hardal gazının etkileri ülkelerin vezikant maddelere ilgiyi arttırmış, geliştirilmesi üzerine çalışmaları hızlandırmıştır. Hardal gazından daha hızlı etki gösteren Lewisit Gazı geliştirilse de savaş alanında kullanılamamıştır.

Kimyasal maddelerin hüküm sürdüğü I. Dünya Savaşı “Kimyagerler Savaşı” olarak literatüre geçmiştir. I. Dünya Savaşında kimyasal madde olarak; klor, hidrojen siyanür, siyanojen klorür, fosgen, hardal, klorpikrin ve öldürücü olmayan kimyasal maddeler kullanılmıştır. Kimyasal silah kullanımında barut paylarının hesaplanarak patlamaya sebep olmaması en kritik aşamayı oluşturmaktadır. Kimyasal maddeler patlamanın etkisiyle reaksiyona girebilir veya yanma tepkimesi sonucu formu bozulabilir. Bu özellik kimyasal silahların kullanımında ana prensibi ortaya koyar ve kimyasal silahların duysal olarak fark edilmesini zorlaştırır. Savaş sonunda 66 milyondan fazla gaz mermisinin kullanıldığı ve buna bağlı olarak 113.000 tondan fazla kimyasal maddenin salındığı; 1.200.000 askerin yaralandığı, 91.000’den fazla askerin öldüğü tahmin edilmektedir (Lukey ve ark 2019).

I. Dünya Savaşı’nda yaşanan kimyasal yıkım sonrası birçok ülke bu kimyasal maddelerinin yasaklanması için adım atmıştır. Savaşlarda kimyasal gaz kullanılmayacağını taahhüt eden önemli anlaşmalardan olan Cenevre Protokolü (1925) bu çalışmaların temelini oluşturarak imzaya açılmıştır. Ancak Cenevre Protokolü de kimyasal silahların üretilmesini, depolanmasını ve kullanılmasını engelleyemedi (Frulli 2022).

1921 - 1926 yılları arasında İspanyol işgali altındaki Fas’a karşı kimyasal gaz kullanıldığı bildirilmiştir. 1935’te İtalyanlar Etiyopya karşısında kimyasal silah

kullandığı ve bu sebeple 15.000 kayıp yaşandığı tahmin edilmektedir. 1937 yılında ise Japonlar Çinlilere karşı farklı kimyasal madde grupları içeren gazlar kullanarak saldırdığı rapor edilmiştir (Lukey ve ark 2019).

1930'lu yıllara kadar en tehlikeli gaz hardal olarak bilinse de Alman kimyager Dr. Gerhard Schrader'in 1936 yılında tesadüfen "German Agent A (Tabun)" sinir gazını tespit etmesiyle kimyasal tehlike boyut atlayarak farklı boyutlarda risk unsurlarının gelişmesine sebep olmuştur. 1938 yılında Schrader, Ambrose, Rudrigger ve Van Der Linde ekip olarak "Sarin" sinir gazını sentezleyerek siviller üzerinde etkisi sebebiyle kullanılan, toksik etkisi yüksek GB rumuzlu ölümcül gazı keşfetmiştir. Sarin gazı tabundan 10 kat daha toksik, kokusuz ve renksiz olması sebebiyle daha etkilidir (Lukey ve ark 2019).

II. Dünya Savaşı öncesinde kimyasal silahlar geliştirilerek kalıcılıkları ve toksik etkileri arttırılmıştır. Bu süreçte Macarlar, Japonlar, Fransızlar, İngilizler, Ruslar ve Amerikalılar başta olmak üzere birçok ülke kimyasal maddelerin geliştirilmesi için çalışma yapmıştır. Almanlar II. Dünya Savaşı öncesinde kimyasal silah stoğu yaparak savaşa hazır halde sinir gazları da dahil olmak üzere depolarında muhafaza etse de bu savaşta kimyasal silah kullanmamışlardır. Almanların II. Dünya Savaşında kimyasal gaz kullanmama sebebi hakkında farklı söylemler bulunmaktadır. Adolf Hitlerin gençken hardal gazına maruz kalmasından dolayı savaşta kullanmak istemediği ve Almanların hava üstünlüğünü kaybetmelerinden dolayı kimyasal silah kullanmadığına dair kabul gören söylemlerdendir. Almanların yanı sıra kimyasal tehdit karşısında Amerikalılar da önemli adımlar atarak Almanlar ve Japonlara karşı kullanmak üzere kimyasal silah stoğu oluşturmuş ve kimyasal gazların geliştirilmesi için çalışmalar yapmış ve sarin gazının türevlerinden olan "Soman" sinir gazını sentezlemişlerdir. Amerikalılar da savaşta kimyasal silah kullanmamış ve bu pahalıya mal olmuştur. II. Dünya Savaşında yaşanan tek kimyasal olay İtalya'nın Bari limanında bulunan ticaret gemilerine yapılan hava saldırısı sonucunda gerçekleşmiştir. Ticaret gemilerinin yanı sıra "*John Harvey*" gemisi de vurularak içerisinde bulunan hardal gazı ve yağ karışımı limanı etkileyerek 83 kişinin hardal gazından zehirlenerek ölmesine sebep olmuştur (Lukey ve ark 2019).

II. Dünya Savaşı sonrasında Alman mevzilerinin işgal edilmesiyle birlikte Almanların sinir gazı programı keşfedilerek; Amerikalıların ve Sovyetler Birliğinin

kimyasal harp maddesi eğilimleri sinir gazları üzerine odaklamıştır. Sinir gazı programlarının keşfedilmesiyle ve sinir gazının en yüksek toksiteye sahip kimyasal harp maddesi olması sebebiyle mevcut sinir gazlarının geliştirilmesi amacıyla birçok tesis inşa edilerek kimyasal tehdit gelişerek artmıştır. İngilizlerin VX gazını keşfetmeleri ile sinir gazlarının kalıcılığı ve toksik etkisi geliştirilerek hem sıvı kirliliğe sahip hem de buhar kirliliği oluşturan yüksek derecede zehirli harp maddelerinin üretilmesi hakkında bilgi havuzu oluşturmuşlardır (Lukey ve ark 2019).

Amerikalıların savaş alanında sinir gazı kullanmadığı bilinse de sinir gazlarının geliştirilmesi için yapılan çalışmalar esnasında kazaen kimyasal salınımlar meydana gelmiştir. 1968'de Dugway kırsalında bulunan VX sprej tankından sızan gaz sonucunda bölgede bulunan 6000 koyunun gazdan etkilenerek ölmesine sebep olmuştur. 1969 yılında Okinawa adasında depolanmış halde bulunan kimyasal harp maddelerinde yaşanan sızıntı sonucu 23 asker ve 1 sivil personel kimyasallardan etkilenmiştir. Yaşanan kazalar sonucunda başkan Richard Nixon kimyasal harp maddesi üretim programının durdurulması için direktif vermiştir (Lukey ve ark 2019).

1980 - 1988 yılları arasında yaşanan İran - Irak savaşında tonlarca kimyasal harp maddesi kullanılmıştır. Raporlar ve gazların insanlar üzerindeki etkileri incelendiğinde yoğunlukla hardal gazı ve sinir gazlarının kullanıldığına dair emareler içermektedir. Savaşın sonlarına doğru İran da misilleme yaparak karşılık verse de uluslararası hukuk kuralları ihlal edilerek mevcut sözleşmeler caydırıcı güce sahip olmamıştır. 1988 yılında Irak güçleri Halepçe'de sivil halka karşı kimyasal hava saldırısı gerçekleştirmiştir. Bu saldırı sonucu birçok sivil gazdan etkilenerek hayatını kaybetmiştir. Uluslararası antlaşmaları hiçe sayarak kimyasal harp maddelerinin kullanılması korku yaratmış ve olası tehditlere karşı Amerikalıların tekrar kimyasal silah programını devreye almalarına sebep olmuştur. Yapılan geliştirme çalışmaları sonucunda çiftli sinir ajanları üretilerek kimyasal tehdit unsurları artarak devam etti (Lukey ve ark 2019). 1990'lı yıllara kadar kimyasal harp serüveni devam etse de ülkelerin mevcut kimyasal harp maddelerinin yasaklanması yönünde sesleri yükselmeye başlamış ve Cenevre Protokolü'nde yer alan maddelerin genişletilerek tehdidin asgari seviyeye getirileceği Kimyasal Silahlar Sözleşmesi için uluslararası statüde çalışmalar yapılmıştır (Frulli 2022).

Kimyasal harp maddeleri sadece savaşlarda değil terörist gruplar tarafından veya intiharlarda da kullanılmaya uygun özelliklere sahiptir. Tarihte rastlanan intihar vakalarının birçoğu toksik etkisi yüksek ve ani ölüme sebep olan kimyasal maddeler vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla en sık görülen kimyasal madde siyanür içerikli kapsüller olarak bilinmektedir. Kimyasal terörizm amacıyla en yüksek ses getiren olay ise; Japon Aum Shinrikyo terör örgütü tarafından yapılan terör eylemidir. 27 Haziran 1994 tarihinde Matsumoto yakınlarında açık alanda yapılan saldırıda sarin gazı kullanılmıştır. Açık arazide yapılmasından dolayı çok etkili olmayan bu saldırı sonucunda 7 sivil hayatını kaybederken 144'ten fazla yararlı olduğu bildirilmiştir. Aynı örgütün bir diğer saldırısı ise 20 Mart 1995'te Tokyo metro saldırısı olarak tarihe geçmiştir. Bu saldırıda sarin gazı koruyucu sızdırmaz poşet içerisinde muhafaza edilmiş ve poşet sivri uçlu şemsiye ile delinerek sarin gazının metroya yayılması sağlanmıştır. Sarin gazı kapalı ortamda solunum yoluyla kirlilik oluşturmuş ve saldırı sonucunda 12 yolcu ölmüş yaklaşık 5000 kişi de gazdan etkilenmiştir. Saldırılarda sinir gazı kullanılmış olsa diğer kimyasal ajanların da infial yaratmak maksadıyla terörist gruplarca kullanılabilecek potansiyele sahip olduğu veya kolaylıkla elde edilerek sentezlenebileceği bilinmelidir (Frulli 2022).

Kimyasal harp tarihi oldukça eskiye dayansa da günümüzdeki tehditler geçmişte yaşanan tehditlerden daha gelişmiş silah sistemlerini barındırarak önlem almayı zorunluluk haline getirmektedir.

1.4.3 Kimyasal Harp Maddeleri

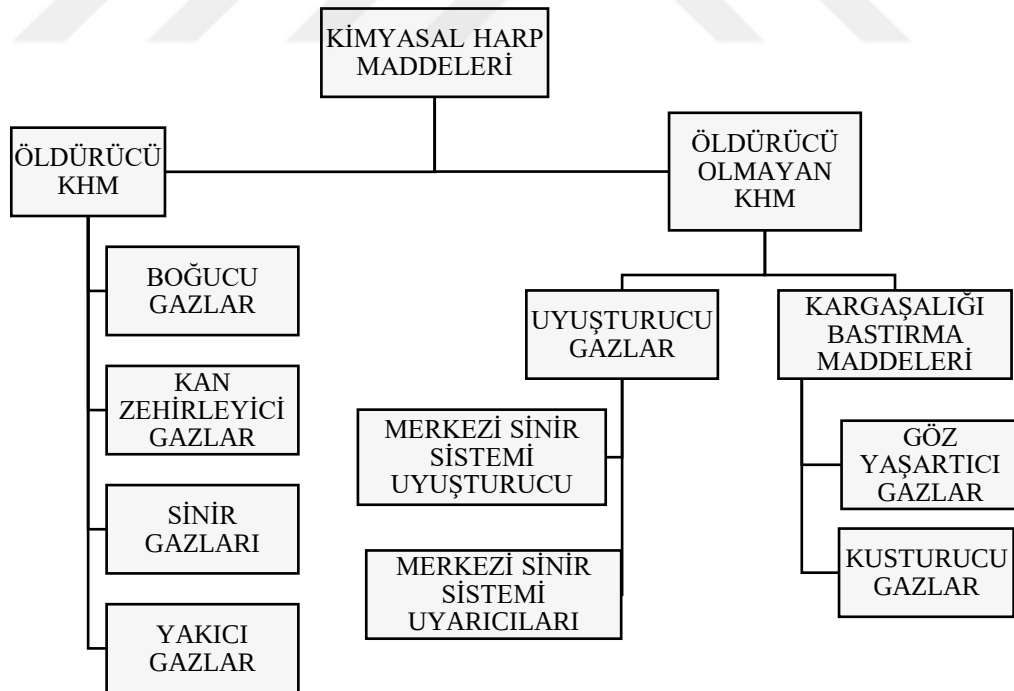
Kimyasal harp, kimyasal harp maddeleri ve zehirli endüstriyel kimyasal maddelerin oluşturacağı tehlikeleri kapsamaktadır. Kimyasal maddelerin özellikleri göz önüne alındığında endüstriyel maddelerin de potansiyel kirlilik kaynağı olacağı bilinmektedir. Kimyasal harp maddeleri antipersonel ve antimateryal etkileri ile farklı kullanım maksatları taşımaktadır. Personeli öldürmek, yaralayarak saf dışı bırakmak, psikolojik açıdan tedirgin etmek, korku ve panik yaratmak gibi sebeplerle kullanılırken, teçhizatın kirletilerek kullanılmayacak hale getirilmesi ve kimyasalların korozyif etkileri ile kritik elektronik cihazların kullanılmasını engellemek suretiyle kullanılabilir. Bununla birlikte arazi kullanımı engellemek, ekonomik önemi olan tarım alanları, petrokimya tesisleri ve enerji üretim istasyonları gibi kritik bölgelerin kirletilerek uzun süre kullanılamayacak hale getirmek suretiyle stratejik kullanımları

da mevcuttur. Tarihte yaşanmış örneklerinde olduğu gibi terör ve kargaşa yaratmak amacıyla da kullanılabilmektedir (Salem ve ark 2019).

Kimyasal harp maddeleri farklı özelliklerine göre sınıflandırılabilir de genel kanı öldürücü ve öldürücü olmayan kimyasal harp maddeleri olarak iki sınıfta geçerlilik göstermektedir. Öldürücü kimyasal harp maddeleri etki mekanizmalarına göre dört ana kimyasal madde üzerinde yoğunlaşırken, öldürücü olmayan kimyasal maddeler ise iki başlık altında incelenmektedir (Chauhan ve ark 2008).

En bilinen öldürücü kimyasal maddeler; sinir sistemini etkileyen kimyasal harp maddeleri, boğucu kimyasal harp maddeleri, kan zehirleyici kimyasal harp maddeleri ve yakıcı kimyasal harp maddeleridir. Kimyasal maddelerin kolay geliştirilebilir özellikte olması sebebiyle çiftli sinir ajanları da geliştirilerek tehdit unsuru olarak yerini almıştır.

Öldürücü olmayan kimyasal harp maddeleri ise; kargaşalığı bastırma maddeleri ve kapasite bozucu maddelerdir.



Şekil 1.1. Kimyasal Harp Maddelerinin Sınıflandırılması (Özdemir ve ark 2001).

1.4.3.1. Öldürücü Kimyasal Harp Maddeleri

Öldürücü kimyasal harp maddeleri, sahip oldukları toksik özellikleri ve koroziv etkileri sebebiyle canlılara zarar vererek etki gösteren, stratejik kullanımı bulunan maddelerdir. Kimyasal maddenin özelliklerine göre etkileri anında görülebildiği gibi günler hatta aylar sonra da gecikmeli etki göstererek personel üzerinde fizyolojik ve psikolojik deformasyona sebep olur. Personelin asgari seviyede etkilenmesi, kimyasal maddenin hızlı şekilde tespit edildikten sonra kimyasal maddenin teşhisinin yapılması ve uygun tedavi yöntemlerinin uygulanması ile dekontaminasyon prosedürlerinin etkin şekilde icra edilmesine bağlıdır. Ortamda bulunan kimyasal harp maddelerinin tespit ve teşhisinin yapılabilmesi için harp maddelerinin insanlar üzerinde ve çevre üzerinde oluşturacağı etkilerin bilinmesi gereklidir (Robinson 2004). Kimyasal harp maddelerinin özellikleri ve etki mekanizmaları KBRN olay yönetiminin hızlı ve etkin yapılmasını sağlar.

1.4.3.1.1. Boğucu Gazlar

Boğucu gazlar; yüksek uçuculuğa sahip özelliği sayesinde genellikle solunum yoluyla vücuda girerek akciğer dokusunu etkileyerek akciğerde ödeme neden olan toksik solunumsal yaralanma oluşturan kimyasal maddelerdir. Harp alanında büyük miktarlarda kullanılan ilk savaş ajanı olmasının yanı sıra endüstride de farklı alanlarda kullanımı bulunan boğucu gazların en bilinen örnekleri; klor, fosgen, difosgen ve klorpikrin gazlarıdır. Bu gazların kolay ulaşılabilir olması birçok tehdit unsurunu da beraberinde getirmektedir (Gorzkowska-Sobas 2013).

Boğucu gazların etki çapı 10 - 50 km olması sebebiyle tarihte sıkça kullanımının olduğunu görmekteyiz. Boğucu gazların insanlar üzerindeki ilk fizyolojik belirtileri; öksürük, burun akıntısı, gözlerde yaşarma gibi basit belirtiler olsa da ilerleyen safhalarda; solunum güçlüğü, dudaklarda morarma, baş ağrısı görülebilir. Maruz kalan kişinin tam zamanlı sıhhi tedavisi yapılamaması halinde; kusma, ağızdan kan gelmesi, kan koyulaşması, zayıf nabız, yorgunluk, şok ve ölüm meydana gelebilir (Robinson 2004).

1.4.3.1.1.1. Klor Gazı

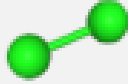
İsveç asıllı Alman eczacı ve kimyager Carl Wilhelm Scheele, 1774 yılında klor gazının bir tanımını hazırlayarak klor gazının keşfini yapmıştır. Klor, adını Yunancada “yeşilimsi sarı” anlamına gelen “chloros” kelimesinden alır (Zellner ve Eyer 2020).

Klor gazının yıkıcı etkisi 1915’te Ypres kentinde klor tüplerinin kullanılmasıyla ortaya çıkmış ve kısa sürede diğer kimyasal ajanların da üretilerek harp alanında kullanımına öncülük etmiştir. Klor gazının havadan daha yoğun olması sebebiyle harp sahasında istenilen etkiyi göstererek düşman mevzilerinde zayıf meydana getirmiştir. Rüzgâr yönünün değişmesiyle klor gazı farklı bölgelere dağılsa da gaza karşı koruyucu ekipmanı olmayan düşman birliklerinin gazdan etkilenerek harp sahasında kayıplar vermesine engel olamamıştır. Klor gazının sanayide kullanım alanına sahip olması ve keskin belirleyici kokuya sahip olması sebebiyle kolayca ayırt edilerek önlem alınması konusunda dezavantaja sahiptir. Bu nedenle aynı etkileri oluşturan, daha toksik etkiye sahip farklı boğucu gazların üretilmesine ortam hazırlamıştır (Salem ve ark 2019).

Klor gazının karakteristik keskin kokusu, yeşilimsi sarı rengi ve tahriş edici yapısı vardır. Havadan ağır olan klor gazı yüksek basınç altında sıvı forma dönüştürülerek ani hayati tehlike oluşturacak toksik etki gösterir. Klorun suda çözünebilen, yanma reaksiyonu oluşturmayan ancak yanma reaksiyonunu destekleyici yapıya sahiptir. Klor; endüstride kâğıt ve kumaş üretiminde ağartıcı, dezenfektan ve temizleyici üretimi gibi farklı sahalarda kullanım alanı bulur (Das ve Blanc 1993).

Klor gazının önemli özellikleri Tablo 1.1.’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Klor Gazının Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Klor
CAS Numarası	7782 – 50 - 5
Kapalı Formülü	Cl ₂
Yapı (3d)	
Molekül Ağırlığı	70.91
Erime Noktası	-101 °C
Kaynama Noktası	-34.5 °C
Buhar Basıncı	4.99 mmHg (20 °C’de)
Buhar Yoğunluğu (0°C)	2.4
Alevlenme Noktası	-
Çözünürlük	Alkol ve kloridlerde çözünebilir.
Hidroliz Ürünleri	HCl ve HOCl
Depolama	Sıvı
Metal Ve Diğer Maddelere Etkisi	Sıvı halde metallere güçlü etki eder.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	10.000 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Kısa
Zehirlenme Hızı	Ani Etki Oluşturur

1.4.3.1.1.2. Fosgen Gazı

Fosgen gazı ilk olarak 1812’de keşfedilmiştir. Endüstride yaygın kullanımı bulunan fosgen gazı, böcek ilacı üretiminde, plastik malzemelerin üretiminde, boyar

maddelerde, farmasötiklerde, polimerlerin yapısında, reçinelerde ve sertleştiricilerin üretiminde kullanılır (Dobbin 1945).

Fosgen, 1915 yılında Fransızlar tarafından kullanılarak tarih sahnesinde yerini alan, muadili olan klor gazından daha toksik etkiye sahip, antidotu bulunmayan, kararlılığı yüksek, su ile reaksiyona girebilen, suda çözündüğünde sudan daha hızlı buharlaşan ve ciltte önemli hasara sebep olan boğucu gazdır. Özellikle solunum yollarına etki ederek akciğerlerdeki kılcal damarların çatlamasına sebep olarak kan sıvısının akciğerlere dolarak kuru toprak boğulması meydana getirerek etkisini gösterir. Fosgen gazı sıvılaştırılarak atma vasıtası ile istenilen bölgelere fırlatılarak önemli tehdit oluşturmuş ve Birinci Dünya Savaşında meydana gelen ölümlerin çoğunluğu bu gazın kullanımıyla olduğu belirlenmiştir. Üzerinde en çok çalışma yapılan kimyasal gazlar arasındadır (Diller 1985).

Fosgen gazı vücuda genellikle solunum yolu ile girse de cilt ve göz tahrişi de meydana getirir. Solunum yoluyla vücuda girdiğinde Haber Yasası ile paralel doğrultuda etki gösterir. Maruziyet süresi arttıkça vücuttaki etkisi doğru orantılı şekilde etkisi artar. Belirgin kokusu olmamakla birlikte; çürük meyve, taze kesilmiş çimen ve küf kokusu gibi farklı kokulara sahip olabilir. Koku eşiği ortalama 1.5 ppm olarak belirlense de değişiklik gösterebilir. 3 - 4 ppm aralığında gözler, burun ve boğazda tahrişe sebep olur. Akciğer tahribatı 30 ppm ve fazlasında meydana gelirken 150 ppm ve üstündeki dozlarda akciğer ödemi oluşturmaktadır (Salmon ve ark 1999).

Fosgen gazı alınan doza bağlı olarak ani ve gecikmeli etki göstererek canlılarda zayıflığa sebep olabilir. Fosgen gazının ani fizyolojik etkileri; öksürük, boğazda kuruluk, göğüste daralma hissi, bulantı, gözlerden yaş akması gibi basit etkilerdir. Fosgen gazının gecikmeli fizyolojik etkileri ise; hızlı ve zor soluk alıp verme, yorgunluk, akciğerlerin su toplaması, tırnakların ve dudakların mavi renk alması, şok ve yüksek konsantrasyonlarda ölümdür. Fosgen gazının tırnaklarda ve dudaklarda mavi renk oluşturması en önemli belirteç olarak gözlenmektedir (Diller 1985).

3 ppm aşan konsantrasyonlarda gözlerde, burunda ve boğazda tahriş gözükür ve belirtiler sadece belirtilenlerse maruziyet bittikten sonra hızla iyileşme gözlenir. Ancak maruziyet 30 ppm ve üstünde ise iyileşme maruziyet sonrası 1 - 4 saat sürmektedir. Doz alımı 150 ve üstü ise tedavi prosedürlerinin uygulanması şarttır. 200

ppm ve üstündeki dozlarda kan - hava bariyerini geçen fosgen gazının kılcal damarları çatlatması ile hasara sebep olur ve ölüm meydana gelir. Fosgen gazının mutajenik etkileri oldukça düşük olmakla beraber kanserojen etkisine dair kesin bilgi bulunmamaktadır (Robinson 2004).

Ortamdaki fosgen gazının tespitinde; pasif dozimetreler, kolorimetreler, kızılötesi spektroskopi ve ultraviyole spektrofotometri gibi birçok teknik mevcuttur.

Triyaj safhasında dikkat edilmesi gereken belirteçler; solunum sıkıntısı, dispne, öksürük, gözlerde ve boğazda tahriş ve sadece tahriş ediciliğidir. Maruz kalan personel hızlıca kirlilik kaynağından uzaklaştırılmalı ve giysileri gevşetilmelidir. Ödem oluşumu 48 saate kadar gerçekleşebileceği için gözetim altında tutulmalıdır. Gözler etkilenmişse; 10 - 15 dakika suyla gözler kapatılmadan yıkanmalıdır. Akciğer ödemi oluşmuşsa takip edilerek uygun tedavi yöntemleri uygulanır (Hobson ve ark 2021).

Fosgen gazının önemli özellikleri Tablo 1.2.'de verilmiştir.

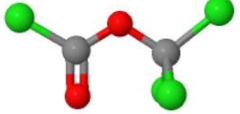
Tablo 1.2. Fosgen Gazının Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Fosgen
Rumuz	CG
CAS Numarası	75 – 44 - 5
Kapalı Formülü	COCl ₂
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	98.92
Erime Noktası	-128 °C
Kaynama Noktası	7.6 °C
Buhar Basıncı	1.17 mmHg (20 °C'de)
Çözünürlük	Sınırlı seviyede suda çözünebilir, birçok organik çözücüde çözünebilir.
Hidroliz Ürünleri	HCl ve CO ₂
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Sıvı halde metallere güçlü aşındırıcı etki eder.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	3200 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Kısa
Zehirlenme Hızı	Gecikmeli etki gösteren fosgen yüksek konsantrasyonlarda etkisi hemen ortaya çıkabilir.

1.4.3.1.1.3. Difosgen

Difosgen gazı boğucu gazlar grubunda yer alırken harp sahasında çok tercih edilmemektedir. Erken belirtileri kolayca fark edilmesini sağlayarak önlem alınmasına olanak sağlar. Fosgen gazı gibi baskın tarzda etki göstermemektedir. Difosgen gazına maruz kalan kişinin gözleri sulanır ve burun akıntısı meydana gelir. Diğer etkileri fosgen gazına benzer olarak gelişir (Lizardo-Huerta ve ark 2018).

Tablo 1.3. Difosgen Gazı Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Difosgen
Rumuz	DP
CAS Numarası	503.38.8
Kapalı formülü	C ₂ Cl ₄ O ₂
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	197.85
Erime Noktası	-57 °C
Kaynama Noktası	127 °C
Buhar Basıncı	4.2 mmHg (20 °C’de)
Alevlenme Noktası	-
Çözünürlük	Sınırlı seviyede suda çözünebilir, birçok organik çözücüde çözünebilir.
Hidroliz Ürünleri	HCl ve CO ₂
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Metaller katalizör görevi yaparak fosgene dönüşmesini sağlar.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	3000 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Kısa
Zehirlenme Hızı	Gecikmeli etki gösteren difosgenin hastalık etkileri aylar içerisinde gözlenir.

1.4.3.1.1.3. Kloropikrin

İlk olarak 1948 yılında pikrik asit ve ağartıcıların sentezi olarak üretilerek I. Dünya Savaşında birçok ülke tarafından kullanılan kloropikrin; yüksek derecede tahriş

edici, keskin kokulu, renksiz veya sarımsı renk kazandırılmış yağsı yapı kazandırılmış, her mevsimde kullanılabilecek özelliklere sahip boğucu kimyasal harp maddesidir. Solunum yoluyla vücuda girdiğinde; yüksek konsantrasyonlarda akciğer ödemeine sebep olarak hastalık unsuru oluşturur. Yağda çözünmesi sayesinde besin yoluyla vücuda alındığında farklı iç organları tahriş ederek etki gösterir. Sıvı olarak çıplak tene temas etmesi halinde cilt yanıklarına sebep olarak derinin su toplamasına neden olur. Yanma tepkimesi oluşturmada da yüksek sıcaklıklarda fosgen, hidrojen klorür, nitrojen oksit ve karbon monoksit gibi zehirli gazlar oluşturabilir. Barışçıl amaçlarla; böcek ilacı, kemirgen ilacı ve fumigant üretiminde kullanılır. Kimyasal harp maddesi olarak genellikle karışımlar halinde veya diğer gazlarla beraber kullanılmıştır (Brown 2009).

Klorpikrin esas olarak solunum yoluyla kullanılır ve buhar ile vücuda etki ettiğinde; 0.3 - 1.35 ppm'lik konsantrasyonda 30 saniye maruz kalındığında gözlerde tahrişe neden olurken, 119 ppm'lik konsantrasyona 30 dakika maruz kalındığında veya 297.6 ppm'lik konsantrasyona 10 dakika maruz kalındığında ölümle sonuçlanmaktadır. Koku eşiği ise 1.1 ppm olup kişiye bağlı olarak gözlerde yaşarma gözlenebilir (Robinson 2004).

Akciğer hasarının ikincil enfeksiyonlara sebep olması ve bronkospazm oluşturmada muhtemel senaryolar dahilinde yer almaktadır. Ciltte tahriş konsantrasyona bağlı olarak hızlı şekilde gerçekleşir ve kalıcı yara izine neden olabilir. Yiyecekler yoluyla vücuda alınırsa mide iltihabına ve tedavi edilmezse ölümle sonuçlanan durumlar yaşanabilir. Gecikmeli etki olarak böbrek ve karaciğer tahribatlarının gözlemlendiği rapor edilmiştir. 48 saat içinde ödem oluşmamışsa ilerleyen süreçte gözlenme ihtimali oldukça düşüktür (Pesonen ve Vähäkangas 2020).

Maruz kalan personelin alandan uzaklaştırılması uygulanacak ilk prosedür olarak belirlenmiştir. Maruz kalan personel hipoksi ve hiperkarbi açısından kontrol edilerek hastalık belirtisi olmasa dahi 48 saat gözetim altında tutulmalıdır. Bu süre içerisinde ödem oluşumu gerçekleşirse uygun tedavi yöntemleri uygulanır (Pesonen ve Vähäkangas 2020).

Cilde kirlilik unsuru bulaşmışsa giysiler çıkartılarak bölge ılık su ve sabun ile temizlenir. Göze etki etmesi halinde gözler kapatılmadan bol su ile 15 - 20 dakika

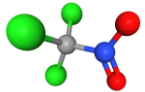
yıkanmalıdır. Klorpikrin yutulması veya yiyecek yoluyla alınması halinde maruz kalan kişi kusturma uygulanmaz, bol su ve sıvı tüketmesi sağlanır. Hasta hipoksi veya siyanozlu ise oksijen tedavisi uygulanır. Bakteriyel enfeksiyonla birlikte ödem sıkça gözlenir. Bu sebeple antibiyotik kullanımı yerine sıvı tüketimi uygun görülen tedavi yöntemidir (Pesonen ve Vähäkangas 2020).

Klorpikrin stabilitesi düşük kimyasal harp maddeleri arasındadır. Güneş ışığına maruz kaldığında fosgen, nitrozil klorür, klor ve nitrojen oksit gibi yan ürünlere ayrışır. Alkali veya toprak alkali maddeler ile şiddetli reaksiyonlara girer ve sudaki çözünürlüğü 2.2 g/l'dir (Robinson 2004).

Tespit amacıyla kimyasal analizler, gaz kromatografisi ve spektrometrik yöntemler kullanılmaktadır.

Koruyucu maske buhar halinden koruma sağlarken koruyucu elbise ile sıvı halinden koruma sağlar. Klorpikrinin önemli özellikleri Tablo 1.4'te verilmiştir.

Tablo 1.4. Klorpikrin Gazı Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Klorpikrin
Rumuz	PS
CAS Numarası	76.06.2
Kapalı Formülü	CCl_3NO_2
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	164.37
Erime Noktası	-69 °C
Kaynama Noktası	112 °C
Buhar Basıncı	18.3 mmHg (20 °C'de)
Alevlenme Noktası	-
Çözünürlük	Sınırlı seviyede suda çözünebilir, birçok organik çözücüde çözünebilir.
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Metallerin etkisi çok azdır.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	2000 mg.dk/m ³
Kalcılık	Kısa
Zehirlenme Hızı	Ani ve gecikmeli etki gösterir.

1.4.3.1.2. Yakıcı Gazlar

Yakıcı kimyasal harp maddeleri; cildi, solunum organlarını, sindirim sistemini ve gözleri tahriş yoluyla etkileyerek zayıf verdiren kimyasal maddelerdir. Cilt dokusu ile temas ettiğinde kabarcık oluştururken gözlere temas etmesi halinde iltihaplara ve göz kayıplarına sebep olmaktadır. Buhar halinde solunum yollarına etki ederek iltihaplara sebep olur. Yakıcı gazlar kalıcı kimyasal harp maddeleri arasında yer alır ve etki mesafeleri 10 kilometreye kadar çıkmaktadır. Yakıcı gazlar düşmanı saf dışı etmek, korku altında bırakmak, koruyucu kıyafeti uzun süre giydirmek, panik yaratmak, arazi kullanımını engellemek, hareket kabiliyetini azaltmak, ikmal kaynaklarını zorlaştırmak ve moral bozmak gibi farklı stratejik amaçlarla kullanılır. Maruz kalan personelin uzun süren tedavi sürecine tabi olması, sağlık sisteminde aksamalara sebep olabileceği gibi dolaylı olarak fazladan personel ve teçhizat ihtiyacı doğuracağı için harp alanında multidisipliner yaklaşımı zorunlu kılmaktadır (Brown 2009).

Yakıcı gazların bir kısmı kokusuz olsa da bazıları rahatsız edici kokulara sahiptir. Sardunya, turp, acı badem ve sarımsak gibi farklı kokular yayabilmektedir. Kokularından bu gazları ayırt etmemiz mümkün olmamakla beraber gecikmeli etki gösteren kimyasallardır (Brown 2009).

Yakıcı gazlar arsenikler ve hardal gazları olarak temel iki ana grupta incelense de fosgen oksim gazları da bu gruba dahil edilen kimyasallar arasındadır.

1.4.3.1.2.1. Hardal Gazları

İlk olarak 1882 yılında sentezlenen hardal gazı kimyasal harp maddesi olarak ilk kez 1917 yılında Belçika'nın Ypres kenti yakınlarında kullanılmıştır. Birinci Dünya Savaşında etkili şekilde kullanılan ve büyük alanları etkileyen gazlardandır. Etki mekanizması ve stabilitesi “savaş gazlarının kralı” lakabına sahip olmasını sağlamıştır. Soğan, sarımsak ve turp gibi keskin nahoş kokular yayar. Cilde bulaşan hardal gazının organlara ve dokulara hızla yerleşmesi ile kimyasal hücre hasarı gerçekleşir. Etil grubunun siklizasyonu ve alkilleyici etkisiyle dokuya bağlanması hızla gerçekleşerek DNA hasarı ve hücre ölümü meydana gelir. Maruz kalan kişide, doku hasarının önlenmesi veya asgari seviyede etkilenmesini sağlamak amacıyla dekontaminasyon prosedürleri uygulanır (Erkekoğlu ve Koçer-Gümüşel 2018).

Hardal gazı etkileri ve geniş alanda yarattığı kalıcı kirlilik sayesinde askeri alanda oldukça önemli gazlar arasında yer alır. Göz hasarları için saf dışı edici dozaj 100 mg.dk/m³ dolaylarında gerçekleşirken, ciddi cilt yanıkları ile saf dışı edici dozaj 200 mg.dk/m³'tür. Cilde bulaşan 4 - 5 g sıvı hardal gazı dekontamine edilemez ve sıhhi tedavi sağlanamazsa öldürücü perkütan oluşturabilir. Hardal gazı uzun mesafelerde etkili olabilirken suda yerel kirlilikler yaratabilir. Havadaki toksik madde kokusu 1.3mg/m³ seviyesinde tespit edilebilir. Birinci Dünya Savaşında ve İran - Irak savaşında kullanılan hardal gazının oluşturduğu cilt ve mukoza lezyonları sekonder etkiler meydana getirdiği gözlenmiştir. Özellikle maruziyet sonrası bir ay içerisinde ölümler ciddi sonuçlar doğurmuştur (Wattana ve Bey 2009).

Korunmasız şekilde maruziyet yaşanırsa saatler içerisinde belirtiler gözlenmeye başlar. Bu süre kişinin metabolizmasına, kullanılan maddenin yoğunluğuna, meteorolojik koşullara ve maruz kalma şekline göre değişiklik gösterir.

Maruziyet sonrası ilk belirtiler genellikle gözlerde yaşarma ile başlar ve ilk 30 dakika ile 3 saat arasında semptomlar gözlenir. Mukozaya etkisi de aynı süreçte gelişebilir ve burun akıntısı, öksürük ve ses kısıklığı gibi farklı şekillerde gözlemlenebilir. Maruziyet sonrası 4 - 16 saat ağrılar şiddetlenerek rahatsız edici hale gelir. Koltuk altında ve genital bölgede iltihap oluşumu ile birlikte kabarcıklar meydana gelir. 24 saatlik süreçte semptomlar artarak devam etse de çok ciddi doz alımları haricinde ilk gün ölüm meydana gelmez (Feister 1991).

Hafif vakalarda ciltte oluşan semptomlar 10 - 15 gün içinde siyaha dönerek dökülmeye başlar. Orta şiddette maruziyette irin dolu kabarcıklar ve iltihaplanma görülür. Bu yaraların iyileşmesi doz miktarına bağlı olarak 3 - 12 haftada uygun tedavi yöntemleri izlenerek tedavi edilir. Şiddetli vakalarda üst ve alt solunum yollarındaki iltihaplanma maruziyetten 48 saat sonra belirgin şekilde gözlenir. Ateş, hızlı nabız ve solunumla birlikte bronkopnömoni ile sonuçlanan durumlarla karşılaşılabilir (Feister 1991).

Hardal gazı maruziyetlerinde uzun vadede karşılaşılan birçok sağlık problemi de görülmektedir. Maruziyetten 6 ay sonra geç başlangıçlı körlük ve gözde kreatin gelişmesidir.

Hardal gazının tespitinde farklı teknikler kullanılsa da spektrometrik yöntemlerle fotometrik yöntemler sıkça kullanılan tekniklerdir.

Hardal gazı maruziyetlerinde profilaktik tedavi unsurları bulunmamaktadır. Alınacak önlemlerin başında koruyucu elbisenin giyilmesi ve açıkta deri kalmamasıdır. Tedavi maruziyetin çeşidine göre değişiklik gösterir. Cilt lezyonlarının tedavisinde yanık üniteleri, banyo tedavisi ve ıslak pansuman gibi metotlar kullanılırken, göz lezyonlarında; salin irrigasyonu ve yapışmayı önlemek için vazelin uygulaması yapılır. Ağır vakalarda antibiyotik tedavisi, vücuttan hardalın atılması için tiyosülfat kullanımı önerilir (Hay 1993).

Hardal gazı meteorolojik faktörlere bağlı olarak ortamda uzun süreler kalıcılık sağlar. Özellikle 0 °C altındaki sıcaklıklarda tehlike teşkil eder. Dekontaminasyon prosedürleri genellikle nötrleştirici aktif kimyasallar (kloraminler) ve bunların tozlarını ihtiva eder (Hay 1993).

Hardal gazının önemli özellikleri Tablo 1.5.'te verilmiştir.

Tablo 1.5. Hardal Gazının Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Hardal
Rumuz	HD
CAS Numarası	505.60.2
Kapalı Formülü	C ₄ H ₈ Cl ₂ S
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	159.08
Erime Noktası	14.45 °C
Kaynama Noktası	217 °C
Buhar Basıncı	0.07 mmHg (20 °C’de)
Alevlenme Noktası	105 °C
Çözünürlük	Suda çok az çözünebilir. yağ, benzin, gaz yağı, aseton, karbon tetraklorid ve kloropikrinde çözünür.
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Saf halde etkisi çok azdır.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	1500 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Kullanılan mühimmata, toprak yapısına, arazi durumuna, meteorolojik şartlara göre değişiklik gösterse de soğuk havalarda bir hafta, toprakta iki hafta, toprağa sızması halinde 3 seneye kadar etkili olabilmektedir.
Zehirlenme Hızı	İlk belirtiler 4 - 6 saat içerisinde görülür. Orta vadede 12 - 24 saat içerisinde belirtiler gözlenmektedir.

1.4.3.1.2.2. Levizit

Almanların 1917 yıllarında arsenik bazlı kimyasallar geliştirmesi müttefik kuvvetlerin de bu yönde eğilimlerde bulunmasına sebep olmuştur. Müttefikler, levizit gazını Birinci Dünya Savaşının son yıllarında sentezlense de harp alanında kullanımı bulunmamaktadır (Lukey ve ark 2019).

Hardal gazıyla benzer özelliklere sahip olsa da hidroliz ürünlerinin topraktaki kalıcılığı ve uçuculuğu hardal gazından daha fazladır. Ancak hardal gazına göre kalıcılığı çok daha azdır. İnsanlar için akut toksisite miktarı belirli olmasa da ortalama 2.5 g cilde bulaştığında tedavi edilmediği taktirde ölümcül vakalar meydana gelebilmektedir. Semptomlar hardal gazından daha kısa sürede gözlenerek önlem almayı mümkün kılar. Maruziyette hızlı şekilde gözlerde yaşarma, blefarospazm, öksürme, hapşırma ve istifra gözlenir. Cilt temasında ilk olarak yanma sonrasında eritem ve vesikasyon meydana gelebilir. Bunun yanı sıra nefes almada güçlük ve ciddi vakalarda psödomembran oluşumuyla birlikte akciğer ödemi gerçekteşebilir. Dekontaminasyon hızlı şekilde yapılmazsa göz lezyonları körlükle sonuçlanabilir. İyileşme süreci hardal gazına oranla daha erken gerçekteşir. İkincil enfeksiyon olmadığı sürece birkaç hafta içinde iyileşme gözlenir (Rall ve Pechura 1993).

Levizit gazının teşhisi gaz kromatografisi ile laboratuvar şartlarında gerçekteştirilir. Protein katkı maddelerinin teşhisine dayalı teknikler ile hemoglobine bağlanan 2 klorovinil larsonöz asit maruziyetten 12 saat sonrasına kadar idrarda ölçülebilir (Haas 1998).

Maruz kalan personel alandan derhal uzaklaştırılırken görevli personel koruyucu teçhizatını giymeli, maruz kalan personel temiz alana çıkarıldıktan sonra hızla dekontamine edilmelidir. Gözler kapatılmadan salin veya su ile yıkanmalıdır (Rall ve Pechura 1993).

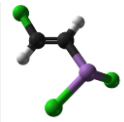
Levizit gazına karşı profilaktik tedavi yer almamaktadır. Alınacak önlemler ile levizit gazının etkileri asgari seviyeye düşürölür. Alınacak önlemler kapsamında; koruyucu teçhizatın giyilmesi ile dekontaminasyon prosedürlerinin doğru şekilde uygulanması yer alır.

Levizit gazına maruz kalan personelin tedavisinde farklı metotlar bulunmaktadır. Dimerkaprol (BAL; British anti - lewisite) ile tedavi arsenik zehirlenmeleri için kullanılan standart tekniktir. BAL arseniği kendisine bağlayarak etkiyi en aza indirir. Cilt ve göz uygulamaları için merhem ve damla olarak farklı formlarda bulunmaktadır. Ağır vakalarda uygun görülen yoğun bakım tedavileri uygulanarak süreç tamamlanır (Peters ve ark 1945).

Dekontaminasyon prosedürleri hardal gazı ile paralel uygulamaları içermektedir. Dekontaminasyon maddeleri olarak birçok ordu tarafından kloramin çözeltileri esaslı nötrleştirici maddeler kullanılmaktadır. Sadece su ile dekontaminasyon prosedürleri levizit gazı kirliliğini yayacağı değerlendirildiği için tek başına kullanılması önerilmez (Peters ve ark 1945).

Levizit gazının önemli özellikleri Tablo 1.6.'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Levizit Gazı Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Levizit
CAS Numarası	541.25.3
Kapalı Formülü	$C_2H_2AsCl_3$
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	207.35
Erime Noktası	-18 °C
Kaynama Noktası	190 °C
Buhar Basıncı	0.39 mmHg (20 °C'de)
Alevlenme Noktası	-
Çözünürlük	Suyun Ph özelliğine göre çok az çözünebilir veya çözünmeyebilir; yağ ve organik çözeltilerde çözünür. Diğer kimyasal harp maddeleri ile iyi karışabilme potansiyeline sahip olduğu için taktik karışımlarda tercih edilir.
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Kuru halde etkisi yoktur.
LCT₅₀ (Solunum Yoluyla)	1400 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Hardal gazından daha az kalıcılığı bulunur.
Zehirlenme Hızı	Hızlı şekilde etki gösterir.

1.4.3.1.3. Sinir Gazları

Sinir gazları pestisitlerin geliştirilmesine yönelik çalışmaların sonucunda tesadüfî şekilde analiz edilmesiyle keşfedilmiştir. Sinir gazları hetero atomlara bağlı merkezde fosfor bulunan organofostat bileşikleridir. Genellikle kokusuz, renksiz veya sarı - kahverengi olan suda çözünebilen, kuvvetli alkali çözeltilerde oldukça hızlı hidroliz olan maddelerdir. Sinir gazları iki tipe ayrılarak incelenir; G tipi sinir ajanları ve V tipi sinir ajanlarıdır. Bilinen G tipi sinir ajanlarının birçoğu İkinci Dünya Savaşı esnasında veya kısa süre sonrasında geliştirilmiştir. İlk olarak Almanların bu gazları keşfetmesi sebebiyle German “G” kısaltmasıyla anılmalarını sağlamıştır. V tipi ajanlar ise 1950’li yıllarda G tipi sinir ajanlarının kalıcılığı ve toksik etkisi geliştirilmiş alkil fosfonotiyolatlardır (Grob ve Harvey 1953).

Sinir gazları insanlarda düşük dozlarda dahi kolinesterazı inhibe eden organofosfor ve diğer organofosfatlardır. Sinir gazlarının insanlardaki etki mekanizması sinir uyarılarının iletimini bozacak şekilde kolinesterazın inhibesine dayanmaktadır. G ajanları inhalasyon yoluyla etki etmesi amacıyla geliştirilirken, V tipi sinir ajanları deriye nüfuz etme ve aerosollerin solunması yoluyla etki etmesi için geliştirilmiştir. Kimyasal yapıları ve toksikolojik etkileri ticari olarak kullanılan pestisitlerle benzer özellik gösterse de sinir gazları daha şiddetli sonuçlar meydana getirmektedir. Sinir gazlarının zehirlenmelerine karşı bilgiler sınırlı olsa da pestisitlerin etkilerine ilişkin kapsamlı bilgilere ulaşmak mümkündür (Rauk ve ark 1995).

Geçmişte kiloton seviyesinde yüksek miktarda üretilerek tehdit unsuru olmuş bazı sinir gazları; Tabun, Sarin, Soman ve Vx’tir. Bu ajanların yanı sıra farklı birçok sinir ajanı da üretilmiştir. En fazla üretilen iki ajan ise; Sarin ve Vx gazlarıdır. Bu gazların birçok yönden geliştirilerek türetilen varyasyonları olsa da bilinen son ajanlardan birisi Novichok gazıdır. Bu sinir ajanı hakkında yeterli bilgi bulunmasa da sinir gazlarının en etkililerinden olduğu tahmin edilmektedir. Kimyasal analizi yapılmadığı için Kimyasal Silahlar Sözleşmesi hükümlerinde kısıtlama getirilmiş gazlar arasında olup olmadığı bilinmemektedir (Rauk ve ark 1995).

Sinir gazları vücut yüzeyinden emilebildiği gibi buhar veya aerosol olarak da vücuda alınabilir. Düşük dozlarda maruz kalındığında gözlemlenen ilk etki miyozistir.

Orta şiddetli maruziyetlerde muskarinik etkiler meydana gelirken yüksek dozajlarda maruziyet ölümle sonuçlanabilmektedir (Kovacic 2003).

Ölümcul olan sinir gazlarına maruz kalmak birkaç saat içinde ölümle sonuçlanmaktadır. Ölümcul doza maruz kalındığında ise birkaç dakika içinde ölüm meydana gelir. Bu özelliği sebebiyle sadece savaş alanında değil hızlı şekilde öldürmek maksadıyla suikast aracı olarak da kullanılmaktadır (Kovacic 2003).

Maruz kalan personelin iyileşme süreciyle ilgili olarak; hafif ve orta şiddetli doz alımlarında personelin iyileşmesi için dekontaminasyon ve tedavi süreçlerinin etkin yapılması gereklidir. Asetilkolin esterazın inhibisyonu geri döndürülemez ancak sinaptik iletimde duruma adaptasyon sağlanarak iletim sağlanabilir. İnhibe edilen enzimin reaktivasyonu yok denecek seviyededir (Okudera ve ark 1997).

Tespit için farklı yöntemler uygulansa da uygulamada en çok askeri kitler kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra subjektif metotlarla; göz bebeklerinin küçülmesi, yağsı damlacıklar, yaprakların zamanından önce sararması gibi çevresel faktörlerden ortamdaki varlığı konusunda bilgi edinilebilir. Sinir gazlarının insanlar üzerindeki etkileri; baş ağrısı, denge bozukluğu, aşırı terleme, şaşkınlık, ağız ve burun akıntısı, gözlerde sulanma, miyozis, bronkospazm, bradikardi, paralizi, koma ve tedavi edilmezse ölümdür (Kanamori-Kataoka ve Seto 2008).

Teşhis konusunda mevcut teknolojik şartlarda en hızlı ve doğru yöntem kandaki kolin esteraz aktivitesinin ölçümü ile yapılmaktadır. Ancak bu yöntemde maruziyet öncesi aktivite hakkında bilgi yer almadığından inhibisyon %20'den fazla olmadığında yöntem doğru sonuç vermez. Teşhis maksadıyla geliştirilen laboratuvar testleri de mevcuttur (Kanamori-Kataoka ve Seto 2008).

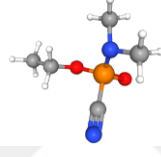
Profilaktik tedavi amacıyla pridostigmin kullanılır. Sinir gazı maruziyeti öncesi alınarak yaklaşık %30'luk kolin esteraz inhibisyonu sağlar (Kanamori-Kataoka ve Seto 2008).

Sinir gazına maruz kalındığında ise atropin sülfat muskarinik etkileri bloke ederek merkezi sinir sistemindeki etkileri ortadan kaldırır. Dikkat edilmesi gereken unsur ise fazla atropin sülfatın taşikardiye sebep olmasıdır. Atropin sülfatın yanı sıra diazepam da tercih edilen yöntemlerdendir (Okudera ve ark 1997).

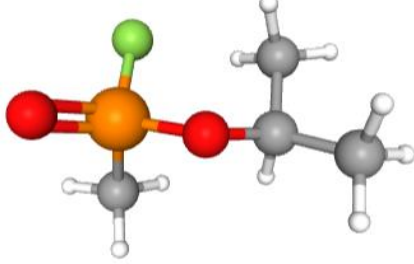
Sinir gazlarının etki mekanizmaları ve etken maddeleri benzerdir. Harp alanında kullanımının yanı sıra birçok terör örgütü tarafından kullanılma potansiyeli bulunan gaz çeşididir.

Geçmişte kullanılan ve kullanılma olasılığı bulunan sinir gazlarının önemli özellikleri aşağıda verilmiştir.

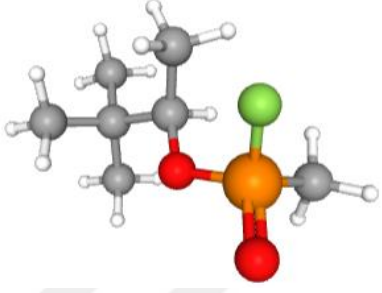
Tablo 1.7. Tabun Gazı Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Tabun
Rumuz	GA
CAS Numarası	77.81.6
Kapalı Formülü	C ₅ H ₁₁ N ₂ O ₂ P
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	162.13
Erime Noktası	-50 °C
Kaynama Noktası	247.5 °C
Buhar Basıncı	0.07 mmHg (25 °C’de)
Alevlenme Noktası	78 °C (Maddenin yanmasıyla hidrojen siyanür açığa çıkabilir)
Çözünürlük	Organik çözücülerde (alkol, eter, yağ, benzin vb.) çözülebilir. Suda az çözünür.
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Çeliği az seviyede aşındırıcı etki yapar.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	400 mg.dk/m ³

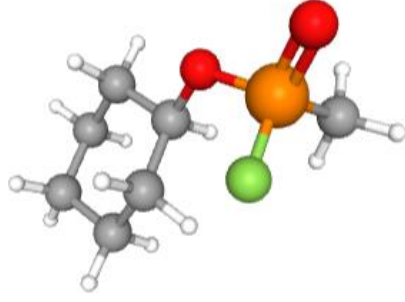
Tablo 1.8. Sarin Gazı Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Sarin
Rumuz	GB
CAS Numarası	107.44.8
Kapalı Formülü	C ₄ H ₁₀ FO ₂ P
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	140.10
Erime Noktası	-56 °C
Kaynama Noktası	158 °C
Buhar Basıncı	2.10 mmHg (20 °C’de)
Alevlenme Noktası	-
Çözünürlük	Hemen hemen tüm organik çözücülerde (alkol, benzin vb.) çözülebilir. Suyla karıştırılabilir.
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Çeliğe aşındırıcı etki yapar.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	100 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Atım vasıtası ve meteorolojik şartlara göre değişiklik gösterse de uçucu gazlardandır.
Zehirlenme Hızı	Çok hızlı şekilde etki gösterir. Öldürücü doz alındıktan 15 dakika sonra ölüm gerçekleşebilir.

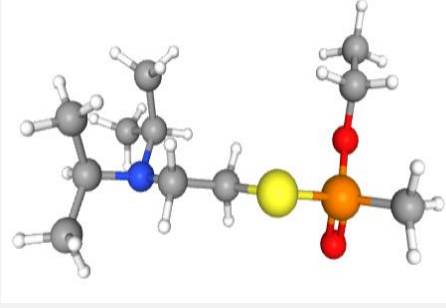
Tablo 1.9. Soman Gazı Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Soman
Rumuz	GD
CAS Numarası	96.64.0
Kapalı Formülü	C ₇ H ₁₆ FO ₂ P
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	182.17
Erime Noktası	-42 °C
Kaynama Noktası	198 °C
Buhar Basıncı	0.40 mmHg (25 °C’de)
Alevlenme Noktası	121 °C
Çözünürlük	Suda az çözünürken; sülfürlü yakıcı gazlarda, benzinde, alkolde ve yağda çözünür.
Metal ve Diğer Maddelere Etkisi	Metali hafif aşındırabilir.
LCT ₅₀ (Solunum Yoluyla)	70 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Atım vasıtası ve meteorolojik şartlara göre değişiklik gösterse de uçucu gazlardandır.
Zehirlenme Hızı	Hızlı şekilde etki gösterir.

Tablo 1.10. Siklosarin Gazı Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Siklosarin
Rumuz	GF
CAS Numarası	329 - 99 - 7
Kapalı Formülü	C ₇ H ₁₄ FO ₂ P
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	180.2
Erime Noktası	-30 °C
Kaynama Noktası	239 °C
Buhar Basıncı	0.044 mmHg (20 °C’de)
Alevlenme Noktası	94 °C
Çözünürlük	Suda nerdeyse hiç çözünmez.
LD ₅₀ (Tavşan)	100 µ/kg
Kalıcılık	Sudan yaklaşık 20 kat daha kalıcıdır. Atım vasıtası ve meteorolojik şartlara göre kalıcılığı değişiklik gösterse de uçucu gazlardandır.
Zehirlleme Hızı	Hızlı şekilde etki gösterir.

Tablo 1.11. VX Gazının Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	VX
CAS Numarası	50782 - 69 - 9
Kapalı Formülü	C ₁₁ H ₂₆ NO ₂ PS
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	267.38
Erime Noktası	-51 °C
Kaynama Noktası	298 °C
Buhar Basıncı	0.00077 mmHg (20 °C’de)
Alevlenme Noktası	159 °C
Çözünürlük	Düşük sıcaklıklarda su ile karışabilir. Organik çözücülerde çözünebilir.
LCT ₅₀ (Solunum)	100 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Atım vasıtası ve meteorolojik şartlara göre kalıcılığı değişiklik gösterse de kalıcı gazlardandır. Düşük sıcaklıklarda aylarca ortamda kalabilir.
Zehirlenme Hızı	Gecikmeli etki gösterir.

1.4.3.1.4. Kan Zehirleyici Gazlar

Sanayide sıkça kullanımı bulunan hidrojen siyanür (HCN) ve siyanojen klorid gibi (CNCl) gibi siyanür ihtiva eden kimyasal maddelerin kırmızı kan hücrelerine etki ederek oksijen taşıma kapasitelerinde hasar oluşturmaları sebebiyle kan zehirleyici kimyasallar olarak isimlendirilmişlerdir. Vücuda genellikle solunum yoluyla girerek etki ederler. Üretimleri ve kullanım alanlarının fazla olması sebebiyle potansiyel tehdit oluştursalar da bazı kimyasal özellikleri sebebiyle taktiksel kullanımları bulunur. Yüksek uçuculukları ve havadan hafif olmaları sebebiyle istenilen etkinin oluşturulması için çok miktarda ortama bırakılmaları gereklidir. Etki mekanizmaları oldukça hızlıdır ve öldürücü doz alındıysa dakikalar içinde ölüm gerçekleşebilir (Erkekoğlu ve Koçer-Gümüşel 2018).

Kan zehirleyici gaza hafif doz maruziyette; boğaz tahribatı, titreme, öksürük, solunum hızlanması, boğulma hissi görülürken orta seviyede maruziyette; gözlerde tahriş, baş ağrısı, bulantı ve kusma gözlenirken yüksek seviyede maruziyette nefes borusunda şiddetli ağrı ve tedavi edilmezse ölüm meydana gelir. Kan zehirleyici gazlara maruziyetin en önemli emaresi, dudaklarda, kulaklarda, tırnak altlarında ve ciltte parlak kırmızı veya parlak pembe renk görülmesidir (Erkekoğlu ve Koçer-Gümüşel 2018).

Siyanür tuzlarının reaksiyonu sonucunda kolaylıkla elde edilebilirler. Reaksiyon mekanizması Denklem 1.1’de verilmiştir.



Denklem 1.1. tersinir tepkime halinde de gerçekleşebilir.

1.4.3.1.4.1. Hidrojen Siyanür

Hidrosiyanik asit veya hidrojen siyanür olarak bilinen kan zehirleyici gaz hücresel düzeyde aerobik solunumu engelleyerek hücrelerin oksijen kullanımını engelleyerek laktik asit birikimine sebep olur ve hücreleri öldürerek etki eder. Renksiz, çok uçucu ve acı badem kokusuna sahip sıvı olarak bulunabilir. Suda çözünbilmesi sayesinde suların kirletilmesinde taktiksel olarak kullanılabilir. Hidrojen siyanür stabilize edilse de uygun şartlar oluştuğunda polimerleşerek patlayabilir. Düşük konsantrasyonlarda da acı badem kokusu hissedilebilir (Dagaut ve ark 2008).

Hidrojen siyanür endüstride ara madde olarak sıkça kullanılan gazlardandır. Hidrojen siyanür yapısı, düşük moleköl ağırlığı ve yüksek uçuculuğu sayesinde filtrelerde düşük seviyede absorbe edilebilirler.

Hidrojen siyanür buhar halinde deriden nüfuz edemez, vücuda en muhtemel giriş yöntemi solunum sistemiyle gerçekleşir. Ancak sıvı halde cilde zarar verebilir ve cilde nüfuz edebilir (Dagaut ve ark 2008).

Gaz akciğerlerde hızlıca emilerek zehirlenme belirtileri ortaya çıkar. İlk olarak hiperventilasyon ortaya çıkar ve doz alımıyla şiddeti artarak bilinç kaybına sebep olabilir. Tedavi edilmediğinde solunum durmasıyla beraber ölüm meydana gelir (Brinley 1927).

Hidrojen siyanürün tespitinde farklı metotlar kullanılırken laboratuvar testlerinin yanı sıra gaz kromatografisi ve kütle spektrometrisi kullanılan metotlardandır (Brinley 1927).

Maruz kalan personelin alandan uzaklaştırılması ana prensip olmakla birlikte triyaj prosedürlerinin uygulanarak hızlı şekilde oksijen tedavisinin uygulanması ve antidot verilmesi önemlidir (Wolfsie ve Shaffer 1959).

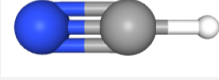
Hidrojen siyanürün çok uçucu olması sebebiyle giysilerin ve ekipmanın dekontamine edilmesi elzem değildir.

Hidrojen siyanür çok uçucu olması dekontaminasyon safhasında da farklı uygulamaları beraberinde getirir. Hidrojen siyanür kirliliklerinde genellikle havalandırma metoduyla bölgenin temizliği sağlanır. Öngörülen zaman dilimi sonrasında bölgedeki kirlilik kontrolü sağlanarak kullanıma açılabilir.

Hidrojen siyanür endüstride sıklıkla kullanılan gaz olması sebebiyle terör amaçlı kullanıma uygun gazlardandır. Bu sebeple müşterek çalışma gruplarında risklerinin değerlendirilip önleyici tedbirler alınmalıdır.

Hidrojen siyanürün önemli özellikleri Tablo 1.12.'de verilmiştir.

Tablo 1.12. Hidrojen Siyanür Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

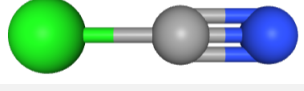
Yaygın İsmi	Hidrojen Siyanür
CAS Numarası	74 - 90 - 8
Kapalı Formülü	HCN
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	27.03
Erime Noktası	-13.3 °C
Kaynama Noktası	25.7 °C
Buhar Basıncı	612 mmHg (20 °C’de)
Alevlenme Noktası	-18 °C
Çözünürlük	Su ve alkolde yüksek derecede çözünür ve bozulmaz. Eter, gliserin, kloroform ve benzende çözünür.
LCT ₅₀ (Solunum)	2000 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Çok uçucudur, dakikalar içinde ortamdan uzaklaşır.
Zehirlenme Hızı	Çabuk etki gösterirken baskın dozaj için uygundur.

1.4.3.1.4.2. Siyanojen Klorür

Ticari olarak kullanımı bulunan siyanojen klorür, hidrojen siyanürün klorlanmasıyla elde edilir. Hidrojen siyanürler ile benzer özelliklere sahiptir.

Siyanojen klorürün önemli özellikleri Tablo 1.13.’te verilmiştir.

Tablo 1.13. Siyanojen Klorür Özellikleri (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

Yaygın İsmi	Siyanojen Klorür
CAS Numarası	506 - 60 - 2
Kapalı Formülü	CICN
Yapı (3D)	
Molekül Ağırlığı	64.48
Erime Noktası	-6.9 °C
Kaynama Noktası	12.8 °C
Buhar Basıncı	1000 mmHg (25 °C’de)
Alevlenme Noktası	-
Çözünürlük	Suda az çözünürken alkol, aseton, benzen, kloropikrin, hardal ve hidrojen siyanürde çözünür.
LCT ₅₀ (Solunum)	11.000 mg.dk/m ³
Kalıcılık	Çok uçucudur, dakikalar içinde ortamdan uzaklaşır.
Zehirlenme Hızı	Ani tahriş oluşturur, çabuk etki gösterirken baskın dozaj kullanımı için uygundur.

1.4.3.2. Öldürücü Olmayan Kimyasal Harp Maddeleri

Eski çağlardan beri insanları ve hayvanları etkisiz hale getirmek maksadıyla sakinleştirici etkiye sahip bazı kimyasal maddeler kullanılmıştır. Özellikle uluslararası statüde kabul edilen uygulamalar kapsamında, kolluk kuvvetleri toplulukların yarattığı kargaşayı bastırma ve kontrol altına almak üzere belirli amaçlar ve kısıtlamalar

dahilinde kargaşa bastırma maddelerini kullanabilmektedir. Yasaklanmayan amaçlar Kimyasal Silahlar Sözleşmesinde (KSS) detaylı şekilde yer bulmuş ve belirli kıstaslar dahilinde KSS'ne taraf ülkeler tarafından uyulması zorunlu kriterler sözleşmede belirtilmiştir. Asıl amacı kargaşalığı bastırmak olan bu kimyasalların öldürmek amacıyla kullanımı olmasa da kimyasal harp maddeleri statüsünde yer aldığını bilmek önemlidir (Yağmuroğlu 2020).

Savunma stratejileri öldürücü olmayan kimyasal maddeleri üç kategoride incelemektedir. Kategori A; uyku, geçici felç, halsizlik, geçici körlük gibi etkiler oluşturan maddeler, Kategori B; düşük dozlarda geçici fiziksel yetersizliğe sebep olan ancak yüksek dozlarda ölüme veya kalıcı etkilere sebep olan maddeler ve Kategori C; zihinsel yetersizliğe sebep olan maddeler olarak ayırım yapılmaktadır. Kategori A için örnek olarak CN ve CS gibi göz yaşartıcı özellikteki maddeler örnek verilirken, Kategori B için kusturucu etkiye sahip adamzıt ve Kategori C için örnek olarak LSD verilebilir. İlerleyen teknoloji ile gazlar arasındaki etki türlerinin birbirine benzemesiyle genel kanı öldürücü olmayan kimyasal maddelerin ikiye ayrılarak kategorize edilmesi yönünde gelişmiştir. Buna göre öldürücü olmayan kimyasal maddeler kargaşalığı bastırma maddeler ve geçici zihinsel etki oluşturan kapasite bozucu kimyasallar olarak ikiye ayrılmaktadır (Özdemir ve ark 2001).

1.4.3.2.1. Kapasite Bozucu Kimyasallar

Birçok kimyasal maddeden kontrollü laboratuvar çalışmaları sonucunda ölümcül olmayan ve uzun süreli zihinsel etki oluşturacak kapasite kaybına sebep olan kimyasal madde türetilir. Ancak kontrollü kullanım ile bu etkiyi oluşturabilecek çok kimyasal yoktur. Burada iki ana etken karşımıza çıkar; birincisi maruziyetin en üst seviyesinde bile ölümle karşılaşılabilmesi ikincisi ise öngörülebilir antidotunun bulunmasıdır. Bu tanımlara uyan en önemli psikotrop maddeler; LSD ve BZ'dir (Pierce ve Peroutka 1990).

Kapasite bozucu zihinsel etkiler meydana getiren kimyasal maddelere maruz kalan kişinin analiz edilmesi çok güçtür. Uyuşturucu kaynaklı etkiler sonucunda maruz kalan kişideki tepkiler çevreye ve diğer personellerin davranış şekillerine göre çok yönlü olarak sonu kestirilemez olaylara sebebiyet verebilmektedir (Pierce ve Peroutka 1990).

1.4.3.2.1.1. Lisergit

LSD olarak da bilinen kapasite bozucu suda çözünebilmesi, renksiz, kokusuz, yiyecek ve solunum kirletici olması sayesinde potansiyel tehdit oluşturmaktadır. Birçok kullanım alanına sahip ve yasaklanmış olsa da kolaylıkla elde edilebilecek yasadışı ilaç olarak temini mümkündür (Pierce ve Peroutka 1990).

Maruziyet sonrası ilk belirtiler somatik semptomlar görülür. Değişkenlik gösteren zihinsel aktiviteler 25 µg gibi düşük seviyede doz alımlarında gerçekleşir. Oral yolla alınan 0.5 - 2.0 µg/kg'lık doz alımında ise baş dönmesi ve halsizlik meydana gelebilir. Üzerinde alınacak dozlarda psikofizyolojik etkiler alınan dozla paralel orantılı şekilde artar. Öldürücü dozun miktarı tam olarak bilinmese de 0.2 mg/kg olduğu tahmin edilmektedir (Taylor 2006).

İnhalasyondan 5 dakika sonra anksiyete, huzursuzluk ve kusma başlar. Algısal bozukluklar ise 30 - 60 dakikada belli olurken en şiddetli etkiler 3 - 5 saat sonra başlar. Genellikle sıhhi tedaviye gerek kalmadan 12 saat sonra etkisi geçer. LSD'nin insanlarda yaklaşık 3 saatlik kısa bir yarılanma ömrü vardır (Taylor 2006).

Tepitinde genellikle gaz kromatografisi, yüksek performanslı sıvı kromatografisi yer alır. Aynı zamanda idrar örneklerinden de LSD'nin tespit edilmesi mümkündür. LSD'ye özgü antidot bulunmasa da şiddetli vakalarda diazepam verilerek sakinleştirilmesi sağlanabilmektedir (Robinson 2004). LSD suda çözünse de UV ışına maruziyette bozunduğu için kalıcı ve etkili değildir.

1.4.3.2.1.2. BZ Ajanı

BZ, 3-kinüklidinil benzilatın hidroklorür tuzu olarak bilinen, suda çözünebilen ve psikokimyasal etkileri bulunan maddedir. Hem periferik otonom hem de merkezi sinir sistemine etki eder (Griebel ve ark 1999).

Katı toz halinde ısı jeneratörleri vasıtası ile kullanılabilen BZ'nin en olası etki yolu inhalasyondur. Semptomlar doza ve zamana bağlı olarak gelişir. Yaklaşık 4.60 µg/kg seviyesindeki doz alımlarında halüsinasyonla karşılaşmaktadır. Hayvan deneyleri sonucunda insanlardaki ölümcül dozun 0.5 - 3 mg/kg olduğu tahmin edilmektedir. Buna göre 70 kg'lık birinin ölmesi için 35 - 225 mg doz alımı gerçekleşmesi yeterlidir (Chemicals ve Toxicology 1982).

BZ vücutta hızlı şekilde etkisini gösterir. Çalışmalar sonucunda hafif dozlarda semptomların 48 saat içinde ortadan kalkarak tedaviye gerek duymadan iyileşmenin başladığı görülmüştür. Normale dönüş kademeli olarak gerçekleşir (Vanderhoff ve ark 1982).

BZ'nin belirgin semptomları; kalp atım hızının artması, kan basıncında artış, kafa karışıklığı, bulanık görme, sersemlik ve uyku halidir. Kademeli olarak semptomlar da gelişir. Genellikle maruziyetten 1 - 4 saat sonra huzursuzluk, istemsiz hareketler ve mide bulantısı gibi hafif semptomlar gözlenir; 4 - 12 saat sonra sersemlikle birlikte uyaranlara karşılık verememe gibi orta şiddetli davranışlar gözlenir; 12 - 96 saat sonra öngörülmeven davranışlarla birlikte normale dönüş başlar. Normale dönüş yaşandıktan sonra uzun vadeli rahatsızlıkların olası olmadığı değerlendirilmektedir (Robinson 2004).

Maruz kalan personelin derhal ortamdan uzaklaştırılması ana prensip olarak gerçekleştirilir. BZ tespiti laboratuvar şartlarında GS - MS ile yapılsa da HPLC de kullanılabilmektedir(Liu ve ark 2012).

İlaç tedavisi olarak en hızlı şekilde fizostigmin kullanılsa da maruziyetten dört saat sonra verilmesi halinde etkisi sınırlıdır. Fizostigmin oldukça toksik bir ilaçtır ve fazla verilmesinden kaçınılmalıdır. Bilinçli kişi tarafından 0.1 mg/kg olacak şekilde oral yöntemle maruz kalan kişiye verilmesi güvenli tedaviyi sağlamaktadır. BZ'nin etkilerinden korunmak için uygun maske ve filtre setinin kullanılması yeterlidir (Robinson 2004).

1.4.3.2.2. Kargaşalığı Bastırma Maddeleri

Bu tür gazlar vücudun duysal tahriş karşı refleks tepkilerini kullanarak gözyaşı, boğulma, kusma ve ağrı oluşturur (Robinson 2004). Gözlerin konjonktivası, burnun iç yüzeyleri ve üst solunum yolları tahriş edici maddelere karşı oldukça hassastır. Kargaşalığı bastırma maddeleri hassas bölgelere nüfuz ederek baskın dozaj şeklinde etki gösterir.

Birinci Dünya Savaşında klor gazının istenmeyen şekilde dost unsurlara etki etmesine benzer şekilde kargaşalığı bastırma maddeleri de deneyimler sonucunda sivil karışıklıkların önüne geçebilmek için evrilerek istenilen özelliklere sahip maddeler

üretilmiştir. Günümüzde dünyada kargaşa bastırma maddesi olarak en yaygın CS ve CN kullanılmaktadır. Tüm ajanların yüksek dozlarda kullanımı sonrasında ölümler olabilsede uygun dozajlarda doğrudan veya dolaylı olarak ölüme sebep olup olmadıkları hakkında kesin bilgi bulunmamaktadır (Yakut 2023).

Kargaşalığı bastırma maddeleri kusturucu maddeler ve göz yaşartıcı maddelerdir.

1.4.3.2.2.1. Kusturucu Maddeler

Bu tür gazlar gözlerde batma ve yaşarmaya sebep olsa da asıl etkisi üst solunum yollarında acı biberin oluşturduğu yanmaya benzer etkiler meydana getirerek hapşırma, öksürme ve kusmaya sebep olur. Doz alımı uzun sürerse ağır hastalıklara ve sıvı alınmazsa ölüme sebep olabilir. En bilinen örneği adamzittir.

1.4.3.2.2.1.1. Adamzit

Difenilaminklorarsin, fenasazin veya DM olarak bilinen adamzit Birinci Dünya Savaşı esnasında sentezlenmiştir. Burun, boğaz ve solunum yollarını yoğun şekilde tahriş eder. Periferik duyu sinirleri etkilenir ve ciltte tahriş oluşturabilir. Düşük dozlarda üst solunum yolları etkilenirken yüksek dozlarda akciğer tahrişine neden olabilir (Schoene ve ark 1996).

Maruziyet genellikle solunum yoluyla gerçekleşir. Yaklaşık 10 mg.dk/m³ dozajlarda taciz etkisi oluştururken ölümcül dozajın yaklaşık 15.000 mg.dk/m³ olduğu tahmin edilmektedir. Maruziyet sonrası etkiler 2 - 3 dakika içinde hızlı şekilde gözlenir. İyileşme doz alımı olmadığı sürece 1 - 2 saatte tamamlanır. Adamzit kokusuz olsa da tespitinde GS - MS ve farklı metotlar kullanılabilir (Robinson 2004).

Dekontaminasyon maddeleri olarak ağartıcı özelliği bulunan hipoklorit, amin veya potasyum permanganat çözeltileri kullanılabilir. Koruyucu teçhizat ve maske seti korunma için kullanılır (Lazarus ve Devereaux 2002).

1.4.3.2.2.2. Göz Yaşartıcı Maddeler

Göz yaşartıcı maddeler göz yaşı akmasına ve cilt tahribatına sebep olarak etki ederler. En bilinen örnekleri; CN, CNC, CNS, CNB, BBC, CS ve CR'dir.

1.4.3.2.2.2.1. CN Ajanı

CN olarak bilinen 2-kloroasetefenon Birinci Dünya Savaşının son zamanlarında sentezlenmiştir. Gözleri, burunu ve üst solunum yollarını tahriş eder. CN kargaşalığı bastırma maddesi olarak yaygın olarak bulunan maddelerden biridir. İnsanlar için taciz edici dozaj yaklaşık 80 mg.dk/m³ civarında iken ölümcül dozaj 7.000 - 11.000 mg.dk/m³ olduğu tahmin edilmektedir (Yi ve ark 2019).

Maruziyet sonrası etkiler anında ortaya çıkar ve uzun süren göz yaşı akması gözlenir. Doz alımına bağlı olarak konjonktival etkiler 24 saat sürebilir. Maruziyet sonrası 15 - 30 dakika etkisi devam eder. Cilt hasarlarının iyileşmesi 3-5 hafta sürebilir (Schep ve ark 2015).

Deney ortamında tavşanlar üzerinde yapılan çalışma sonucunda kalıcı kornea hasarının %4'ün üzerindeki konsantrasyonlarda meydana geldiği gözlenmiştir. CN ajanın kapalı ortamda kullanılması akciğer hasarına neden olabilir. Bu hasar gecikmeli olarak gözlemlenebilir. Uzun süreli maruziyetlerde insanlar üzerindeki etkileri kesin olarak bilinmese de mutajen veya kansorejen olduğuna dair veriye rast gelinmemiştir (Schep ve ark 2015).

Düşük konsantrasyonlarda elma çiçeğine benzer kokuya sahip olan CN'nin koku eşiği ise 0.1 - 0.15 mg/m³ olarak raporlanmıştır. Tespit laboratuvar şartlarında GC-MS ile yapılmaktadır (Robinson 2004).

Maruz kalan personelin alandan uzaklaştırılarak tedavi edilmesi temel ilkedir. Gözde rahatlama sağlamak için çok hafif asit özellikte bulunan borik asit gibi cilt tahrişine sebep olmayacak maddeler kullanılabilir. Akciğer hasarı belirgin şekilde gözleniyorsa oksijen tedavisinin uygulanması gerekebilir. Cilt kirlilikleri sodyum karbonat ve sabunlu su gibi maddelerle temizlenebilir. Bu vakalarda tek başına su yeterli etkiyi sağlamasa da dekontaminasyonda temel kaynaklardan biridir. Cilt deformasyonlarında rahatlatıcı krem ve losyon kullanılabilir (Robinson 2004).

CN'nin olası solunum deformasyonlarından korunmak için maske ve uygun filtre gerekirken, cilt korunması için ferdi koruyucu teçhizatın giyilmesi uygun korunma tedbirlerini içermektedir (Ceremuga ve ark 2018).

1.5. KBRN Kişisel Koruyucu Ekipmanları

KBRN ajanlarının olası etkileri solunum ve cilt kirliliklerini barındırması itibari ile KBRN koruyucu ekipmanlar da cilt korunması ve solunum korunması olarak iki başlık altında değerlendirilmektedir. Koruyucu kıyafet cilt korunmasını sağlarken, maske tertibatı hem cilt korunması hem de solunum korunmasında etkili koruyucu teçhizatlarıdır. Koruyucu kıyafet; eldiven, bot ve kılıfı ile koruyucu elbiseden oluşmaktadır. Koruyucu maske tertibatı ise filtre ve maskeden oluşur (Dönmez 2019).

Koruyucu teçhizat KBRN alanındaki tüm risklere karşı değerlendirilerek geliştirilmiş malzemelerden üretilmelidir. Ani ateşe dayanıklılık, radyant ısıya dayanabilme, kuvvet travmasına karşı koruyuculuk, buhar ve sıvı haldeki ajanlara karşı dayanıklılık, biyolojik ajanlara karşı koruyuculuk ve radyolojik faktörlere karşı ihmal edilebilir seviyeye indirgenmiş koruma düzeyleri gibi farklı gruplarda farklı özelliklere hitap edecek potansiyelde olması istenir. Tüm bu özellikler son kullanıcının istek ve görev tipine göre değişiklik gösterse de koruyucu ekipmanlar bu çerçevede değerlendirilir (Turaga ve ark 2012).

1.5.1. Gaz Maskeleri

Gaz maskelerinin temeli; insanlar için zararlı gazların absorbe edilerek toksik kimyasal gazlardan arındırılmış temiz havanın sağlanması veya zehirli maddenin kimyasal reaksiyona sokularak insan sağlığına zararsız hale getirilmesi esasına dayanmaktadır. Kimyasal maskeler ferdi koruyucu teçhizat kapsamında kullanılan en önemli ekipmandır. KBRN tehditleri içeren olaya müdahale, triyaj, tıbbi tedavi süreci, keşif, korunma ve temizleme safhalarından herhangi birinde görevli personelin öncelikle kendini koruma altına alması sonrasında görevini icra etmesi gereklidir. Solunum korunmasının en önemli parçası gaz maskeleri ve filtrelerinin sağladığı temiz hava ile mümkündür. KBRN olaylarının hangi safhasında olursak olalım vazgeçilmez teçhizat maske takımıdır. Gaz maskeleri risklerin doğru analiz edilerek uygun filtre ile kullanılması marifetiyle gerekli korumayı sağlar (Kandal 2016). Maskelerde kullanılan filtreler özellikleri itibari ile farklılık göstermektedir. Ortamdaki zehirli gazın cinsine göre maske filtresi değiştirilmektedir. Her filtre her gaz çeşidine karşı koruma sağlayamaz (Khayan ve ark 2019). Bu sebeple ortamdaki KBRN emarelerinin iyi değerlendirilerek analiz edilmesi kritik önem taşır.

Gaz maskeleri yeterli oksijen (asgari %16) bulunan ortamlarda kullanılabilir. Maskelerin oksijen üretme veya havadaki kirlilik unsurlarını oksijene dönüştürerek oksijen miktarını artırma özelliği bulunmamaktadır. Oksijen seviyesinin yeterli olmadığı alanlarda oksijen beslemesi yapan filtre sistemleri kullanılır (Aslan ve Kaplan 2010).

Kimyasal gaz maskeleri; tam yüz maskesi ve yarım yüz maskesi olarak iki çeşit maske tasarımı ile farklı görev gruplarında kullanılarak koruma sağlamaktadır. Çalışılan gazın cisine ve çalışma ortamına göre maske seçimi yapılmaktadır. Korozyif özelliği bulunan kimyasalların bulunduğu çalışma ortamında veya ortamdaki gazın çeşidi bilinmediğinde tam yüz maskesi kullanılması gerekirken korozyif özelliği bulunmayan, çok uçucu ve sadece solunum tehdidi oluşturan gazlara karşı yarım yüz maskesi yeterli korumayı sağlayabilir (Jóźwik ve ark 2018).

Gaz maskeleri istenilen standartlarda optik özellikler, fiziksel özellikler ve absorblayıcı madde açısından farklı standartlarda üretilerek kullanım amacına göre geliştirilebilir. Ancak genel yaklaşım açısı itibari ile maskelerde kullanılan filtre yapısı; ön filtre ve asıl filtrelemenin olduğu absorban maddenin olduğu kısımdan oluşur. Ön filtre olarak genellikle HEPA filtre yeterli toz ve sıvı korumasını sağladığı ve maliyet açısından uygun olduğu için tercih edilir (DC 1997).

Gaz maskelerinde kullanılan teknoloji küçük farklılıklar içerse de temelde aynı prensipler üzerine inşa edilmiştir. Nefes alışverişini rahatlatmak için eğim verilmiş valf içerir. Valf sayesinde negatif basınçtan pozitif basınca evrilen nefes alıp verme süreci ile filtreleme işlemi gerçekleşir. Basit bir düzenek üzerine oturtulan bu sistemde dikkat edilmesi gereken en önemli unsur maske içinde vakum oluşturarak kontrolünün sağlanması ve pozitif basıncın sağlanarak valf haricinde hava giriş çıkışının engellenmesidir (Guide 2002).

1.5.1.1. Yarım Yüz Maskesi

Yarım yüz maskeleri bakım gerektirmeyen, gaz ve buhar halinde kirliliklere cevap verebilen ve genellikle çift kartuşlu maskelerdir. Maske filtresinin koruma sağladığı kimyasal gaz ve buharlara karşı koruma sağlar. Yarım yüz maskeleri son dönemde kaçış maskesi olarak da kullanılmaya başlanmıştır (Jóźwik ve ark 2018).

Yarım yüz maskelerinde kullanılan filtreler üç koruma sınıfında konumlandırılır. Sınıf I (FFP1); filtreleme verimliliği %80, işyeri maruz kalma limiti (WEL) uzun vadeli değeri $\geq 2 \text{ mg/m}^3$ olan düşük toksisiteli katılara ve sıvılara karşı koruma sağlar. Azami koruma değeri WEL değerinin 4 katıdır. Sınıf II (FFP2); filtreleme verimliliği %94, WEL uzun vade değeri 0.05 mg/m^3 olan düşük ve orta toksisiteye sahip katı ve sıvı parçacıklara karşı koruma sağlar. Azami koruma değeri WEL değerinin 10 katıdır. Sınıf III (FFP3) filtreleme verimliliği %97, WEL uzun vade değeri $<0.05 \text{ mg/m}^3$ olan düşük ve orta toksisiteye sahip katı ve sıvı parçacıklara karşı koruma sağlar. Azami koruma değeri WEL değerinin 20 katıdır (Jóźwik ve ark 2018).

1.5.1.2. Tam Yüz Maskesi

Tam yüz maskesi KBRN ajanlarına karşı yüz, göz ve solunum koruması sağlayarak en yüksek koruma kapasitesine sahip maske tipidir. Kirli hava filtreden geçirilerek kirlilik unsurunun absorbe edilmesi ve temiz havanın kullanıcıya sağlanması prensibine dayanır. Birçok farklı model ve tasarımı bulunsa da çalışma prensipleri benzerdir (Jóźwik ve ark 2018).



Şekil 1.2. Tam Yüz Maskesi.

Yarım yüz maskesinin filtrelerinde olduğu gibi tam yüz maskesi filtreleri de benzer şekilde sınıflandırılır. Filtrelerin farklı sınıflandırma prosedürleri bulunur. Bu sınıflandırmalardan biri olan parafin yağı ve sodyum klorür aerosollerine ait sınıflandırma: Sınıf I (P1); filtreleme verimliliği %80, WEL uzun vadeli değeri $\geq 2 \text{ mg/m}^3$ olan düşük toksisiteli katılara karşı koruma sağlar. Sınıf II (P2); filtreleme verimliliği %94, WEL uzun vade değeri 0.05 mg/m^3 olan düşük ve orta toksisiteye sahip katı parçacıklara karşı koruma sağlar. Sınıf III (P3) filtreleme verimliliği %99.95, WEL uzun vade değeri $<0.05 \text{ mg/m}^3$ olan düşük ve orta toksisiteye sahip katı ve sıvı parçacıklara karşı koruma sağlar (Michalski ve ark, Józwik ve ark 2018).

KBRN maskeleri tam yüz maskesi olarak kullanım bulur. KBRN tehditleri hem cilt hem solunum tehditleri barındırdığı için tam yüz maskesi kullanımını zorunlu kılar. Tam yüz maskeleri diğer tek kullanımlık N95 maskeleri ve muadilleri ile karşılaştırıldığında ciddi üstünlüklere sahiptir. KBRN tam yüz maskesi dezenfekte edildikten sonra tekrar kullanılabilir olması sayesinde uzun kullanım ömrü sunarak kullanıcıya kolaylık sağlar (Prasad ve ark 2008).

1.5.1.2. Gaz Maskesi Filtreleri

İnsanların yaşamlarını sürdürebilmesi için birincil gereksinim olan temiz havanın solunması sadece kimyasal harp açısından değil yaşamın her alanında gerekli duyulan en temel ihtiyaçtır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi ve farklı sektörlerde kullanım alanı bulması sebebiyle filtreler farklı amaçlar doğrultusunda geliştirilmektedir (Prasad ve ark 2008).

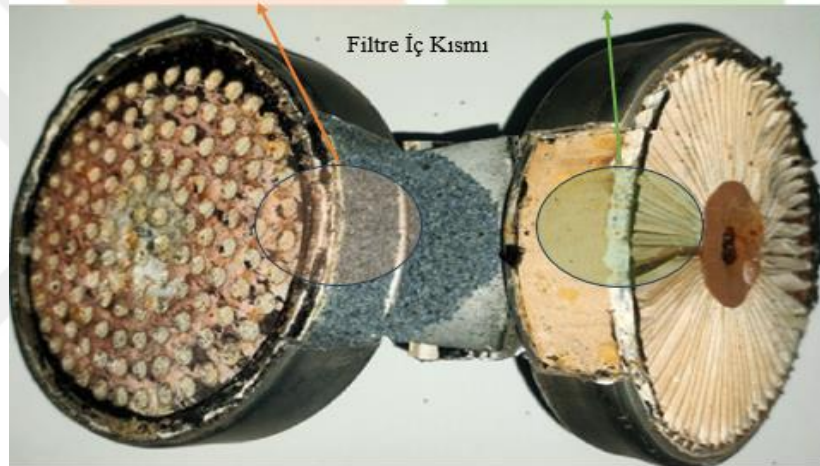
Filtreler koruyuculuk özelliği gösterdiği gaz gruplarına göre kodlandırma yapılarak isimlendirilirler. Bir filtre farklı gaz çeşitlerine karşı absorbe özelliğine sahip olmakla birlikte partikül büyüklüğü sebebiyle de kirlilik unsurlarını süzme kapasitesine sahip olabilir. Filtrelerin çalışma mekanizmasının ana prensibi, öncelikle kirli havanın içinde yer alan toz ve parçacıklardan arındırılmak üzere partikül filtresinden geçirilmesi, sonrasında ise gaz filtresinden geçirilerek havanın içindeki kirlilik unsurlarının absorbe edilmesi veya kimyasal reaksiyona sokularak zehirli gazın bertaraf edilmesidir (Prasad ve ark 2008, Aslan ve Kaplan 2010).

Filtre Dış Kısmı



Asıl Gaz Filtrelemesinin
Olduğu Aktif Karbon
Tabaka

İstenmeyen
Unsurlarının
HEPA Filtre
Kirlilik
Tutulduğu



Şekil 1.3. Filtre.

KBRN filtreleri genel yapı itibariyle istenmeyen toz kirliliklerinin tutulduğu aerosol filtre ve karbon filtreden oluşur. Toz filtre birçok alanda kullanılan HEPA filtreden oluşurken karbon filtre iki geçirgen tabaka arasına sıkıştırılmış aktif karbon taneciklerinden oluşur. Filtrenin yapısı Şekil 1.3.'te verilmiştir.

Gaz filtreleri, absorbe edebildikleri gaz grupları, gaz çeşitleri ve koruma seviyelerine göre kodlanır. Bununla birlikte filtrelerin üzerinde şerit şeklinde renkler bulunur. Bu renkler de standardize edilmiş renkler olmakla birlikte koruyuculuk sağladığı kimyasal madde türünü temsil eder. Sanayide sık kullanılan bazı gaz çeşitleri, koruyucu filtre kodları ve filtre renkleri Tablo 1.14.'te verilmiştir (Jóźwik ve ark 2018).

Tablo 1.14. Filtre Kodları ve Renkleri

Madde	Filtre Kodu	Filtre Rengi
Asetaldehit	AX (P3)	Kahverengi- Beyaz
Asetik Asit	B [E] (P2)	Gri-Sarı-beyaz
Amonyak	K (P3)	Yeşil-Beyaz
Karbonmonoksit	CO	Siyah

Filtrelerin farklı kimyasallara karşı koruma sağlaması sebebiyle KBRN ortamında veya endüstriyel kimyasal maddelerin ortamda kirlilik unsuru oluşturması hangi filtrenin kullanılacağı sorusunu beraberinde getirir. Ortamdaki kirliliğe göre en uygun filtrenin seçilmesinde göz önünde bulundurmamız gereken unsurlar; hangi tür kirleticileri havadan süzerek ayrıştırmalı, filtrenin koruyucu olduğu süre, kirlilik unsurunun konsantrasyonu, filtrenin nasıl bir ortamda koruma sağlaması beklenir, iklim koşulları, ihtiyaç duyulan enerji ortamda bulunuyor mu ve oksijen seviyesi yeterli mi sorularına cevap vererek uygun filtrenin seçilmesi gereklidir (Richardt ve ark 2012).

KBRN filtrelerinde kullanılan aktif karbon sistemleri gaz haldeki kirlilikleri absorbe etmek için kullanılan ana malzemedir. Aktif karbon düşük ve orta molekül ağırlığına sahip maddeleri absorbe etmek üzere düşünülse de sarin ve hardal gibi yüksek molekül ağırlığı olan gazları da absorbe ederek kirlilik unsurlarının fiziksel absorbe edilmesini sağlar (Richardt ve ark 2012). Filtreleme mekanizmalarına ait bilgiler Tablo 1.15.'te verilmiştir.

Tablo 1.15. Filtre Mekanizmaları.

Kimyasal Madde	Filtreleme Mekanizması
Sinir Ajanları	Güçlü fiziksel adsorpsiyon ve ardından yavaş hidroliz
Vezikül Ajanları	Güçlü fiziksel adsorpsiyon ve ardından yavaş hidroliz
Boğucu Ajanlar	Zayıf fiziksel adsorpsiyon ve ardından ajanın ayrışması
Kan Zehirleyici Ajanlar	Zayıf fiziksel adsorpsiyon ve ardından ajanın ayrışması

Reaktif maddelerin aktif karbona empenye edilerek yüksek buhar basıncına sahip siyanojen klorür ve hidrojen siyanür gibi maddeleri de başarılı şekilde ayrıştırabilmektedir. Farklı şekillerde geliştirilmiş aktif karbon sistemleri kullanılarak filtrenin özellikleri tasarlanabilmektedir. Bazı maddelerin aktif karbona empenye edilerek kirlilik unsurlarına karşı geliştirilmektedir. Bazı örnekleri Tablo 1.16.'da verilmiştir (Richardt ve ark 2012).

Tablo 1.16. Kimyasal Kirleticiler ve Faydalı Emprenyeler

Kimyasal Kirletici	Emprenye Maddesi
Asit Gazları, Karbon Disülfürler	Potasyum Karbonat
Aldehitler	Manganez Oksit
Amonyak	Fosforik Asit
Arsin, Fosfin	Gümüş
Hidrojen Siyanür	Çinko oksit
Hidrojen Merkaptan	Demir Oksit
Hidrojen Sülfid	Demir oksit, Potasyum Permanganat
Cıva	Kükürt
Fosgen, Klor, Arsin	Bakır veya Gümüş Tuzları
Radioaktif Metil İyodür	Çinko Oksit

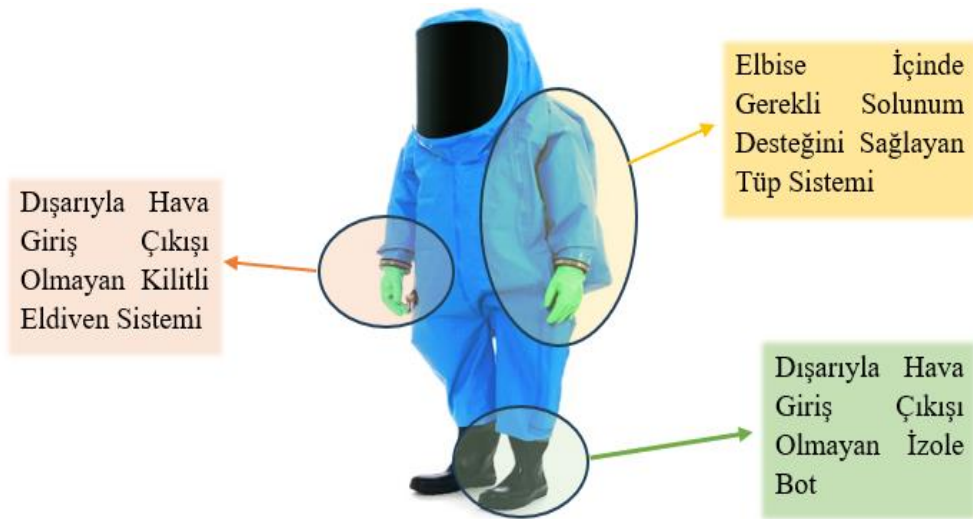
1.5.2. KBRN Koruyucu Elbiseleri

Birinci Dünya Savaşında kimyasal ajanların kullanılarak yaygınlaşmasının sonucunda KBRN koruyucu ekipmanlarına olan ihtiyaç artarak devam etmiştir. Tehdit unsurlarının değişmesiyle sadece solunum korunması değil sıvı temasına bağlı cilt tahribatının yarattığı vücut korunması önem kazanmıştır. Özellikle yakıcı gazların harp alanında kullanılarak tahribat yaratması, kimyasal maddelere karşı koruyuculuğu bulunan ferdi koruyucu elbiselerin geliştirilmesini sağlamıştır (Gough 2001, Simeonova ve Hylak 2015).

Geliştirilen ferdi koruyucu teçhizatlar üst düzey koruma ve maske ile entegre edilmesinin yanı sıra ekonomik gereksinimleri de karşılayacak şekilde evrilerek farklı amaçlar doğrultusunda farklı koruyuculuk seviyelerine göre sınıflandırılmıştır.

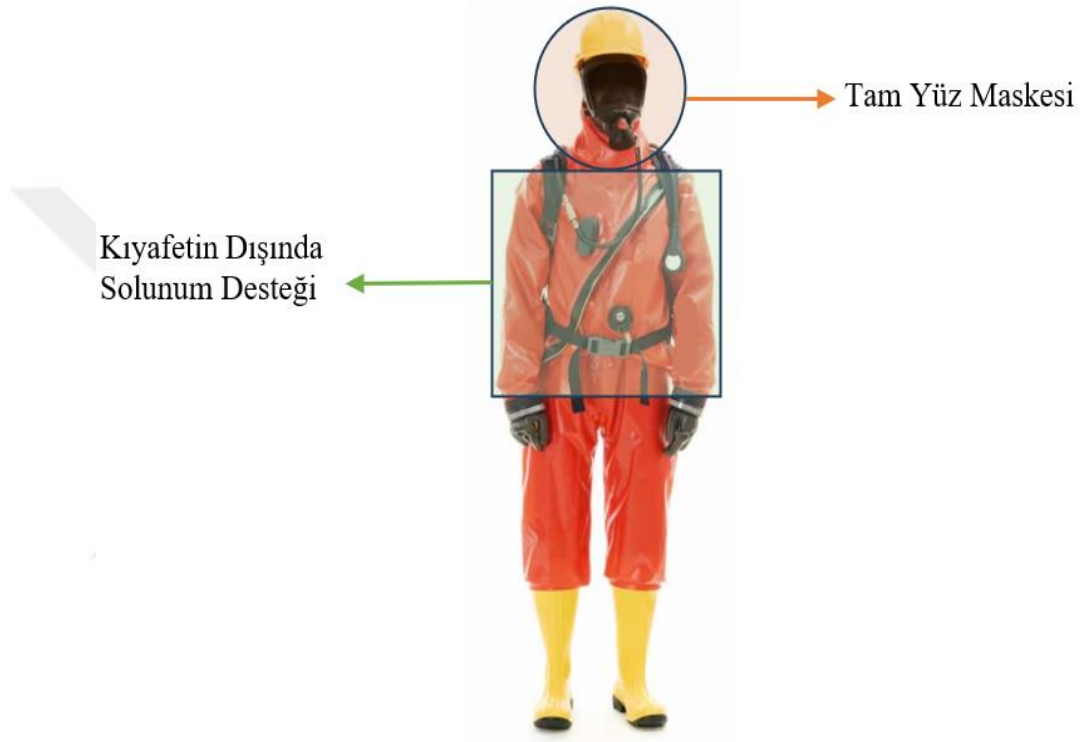
Kullanım amacına göre; A Tipi, B tipi ve C tipi koruyucu elbiseler üretilerek verilen görevin gerektirdiği koruyuculuk düzeyine göre KBRN unsurlarına karşı kullanılır. Ferdi koruyucu teçhizatın türü belirlenirken mevcut tüm tehdit ve risklerin değerlendirilerek mevcut görev için en uygun olanı seçilir (Simeonova ve Hylak 2015, Michalski ve ark 2018).

A tipi ferdi koruyucu elbise; pozitif hava basıncı ile dışarıdan hava girişi tamamen kesilmiş, sıvı ve buhar girişi olmayan, gerekli oksijen desteğini kendi içerisinde barındıran en yüksek koruma seviyesine sahip KBRN koruyucu elbisedir. Dışarı ile bağlantısı bulunmayan ve gerekli tüm donanımına sahip elbise; cilt, göz ve solunum korunması sağlar. Elbisenin ağır olması, hareket serbestisini zorlaması, yanlış kullanımlara bağlı olarak personelin zarar görmesine sebep olması ve yardımcı olmadan giyilememesi en büyük dezavantajlarıdır. Bununla birlikte yırtık ve deformasyon olmadığı takdirde kimyasal ve biyolojik faktörlerin tamamına karşı koruma kapasitesi olması, dekontaminasyonun kolay olması ve gerekli oksijen desteğinin elbise içinde sağlanması kritik özellikleridir. A tipi koruyucu elbise hangi tür kimyasal veya biyolojik unsurla karşı karşıya olunduğu bilinmediğinde, kısa görev şartlarında ve tehdit unsurlarının çeşitli faktörlere bağlı olduğunda tercih edilir (Simeonova 2015, Simeonova ve Hylak 2015, Michalski ve ark 2018). A tipi koruyucu elbise Şekil 1.4.'te verilmiştir.



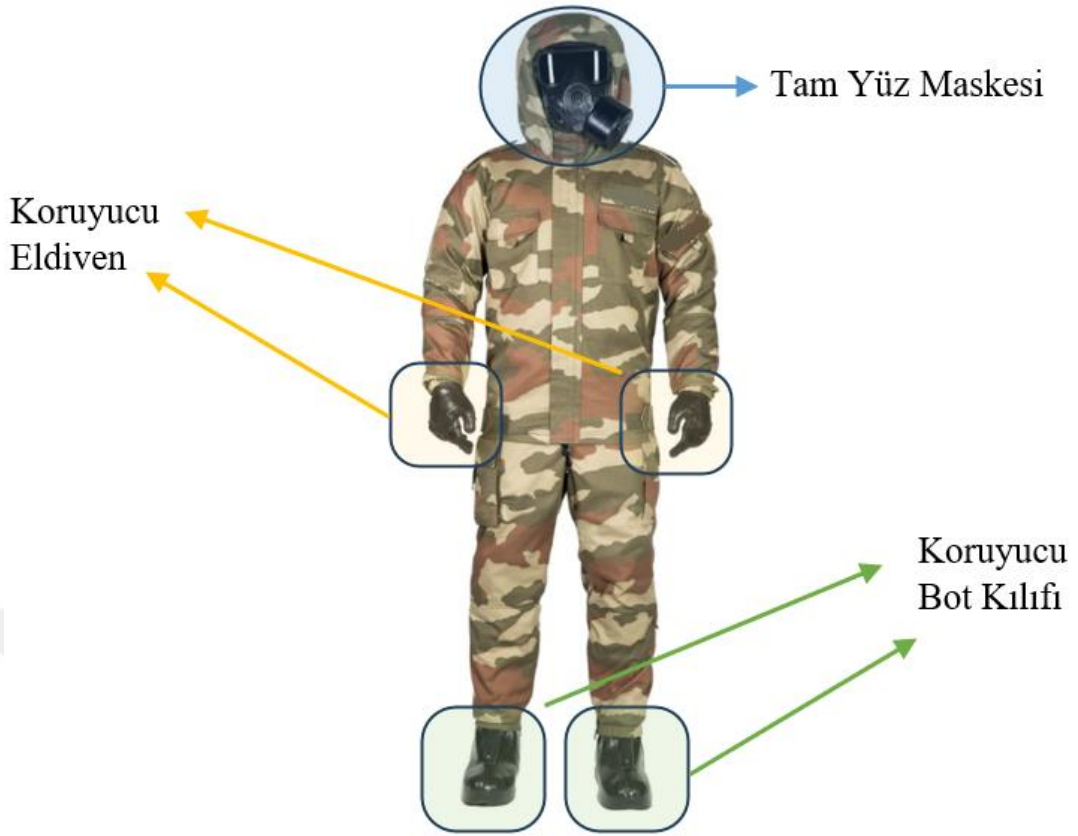
Şekil 1.4. A Tipi KBRN Koruyucu Elbise (<https://www.draeger.com>).

B tipi ferdi koruyucu elbise; A tipi ferdi koruyucu teçhizatla benzer özelliklere sahiptir. Yüksek düzey solunum korunması ve orta düzey cilt korunmasına gerekli durumlarda tercih edilir (Simeonova ve Hylak 2015). A tipi koruyucu elbiseden farklı olarak solunum desteği kıyafetin dışında konumlandırılmıştır. Aynı zamanda tam yüz maskesi de kıyafetin dışında yer alır. A tipi koruyucu elbise takımına göre daha rahat kullanım sağlasa da koruyuculuğu nispeten düşüktür. B tipi koruyucu elbise örneği Şekil 1.5.'te verilmiştir.



Şekil 1.5. B Tipi KBRN Koruyucu Elbisesi (<https://www.draeger.com>).

C tipi ferdi koruyucu elbise takımı; tam veya yarım yüz maskesi, koruyucu bot kılıfı ile eldivene sahip, aktif karbonla teçhiz edilmiş ferdi koruyucu elbisedir. Ortamdaki maddenin türü hakkında bilgi varsa, yeterli oksijen ortamda bulunuyorsa, kullanılan filtrenin ortamdaki maddeye karşı koruyuculuğu mevcutsa ve elbise ortam şartları için uygunsa kullanılır (Simeonova ve Hylak 2015). C tipi koruyucu elbise takımı genellikle kolluk kuvvetleri tarafından kullanılır. Koruyuculuk seviyesi A tipi ve B tipi koruyucu elbise takımlarından daha düşük düzeydedir. C tipi koruyucu elbise takımı Şekil 1.6.'da verilmiştir.

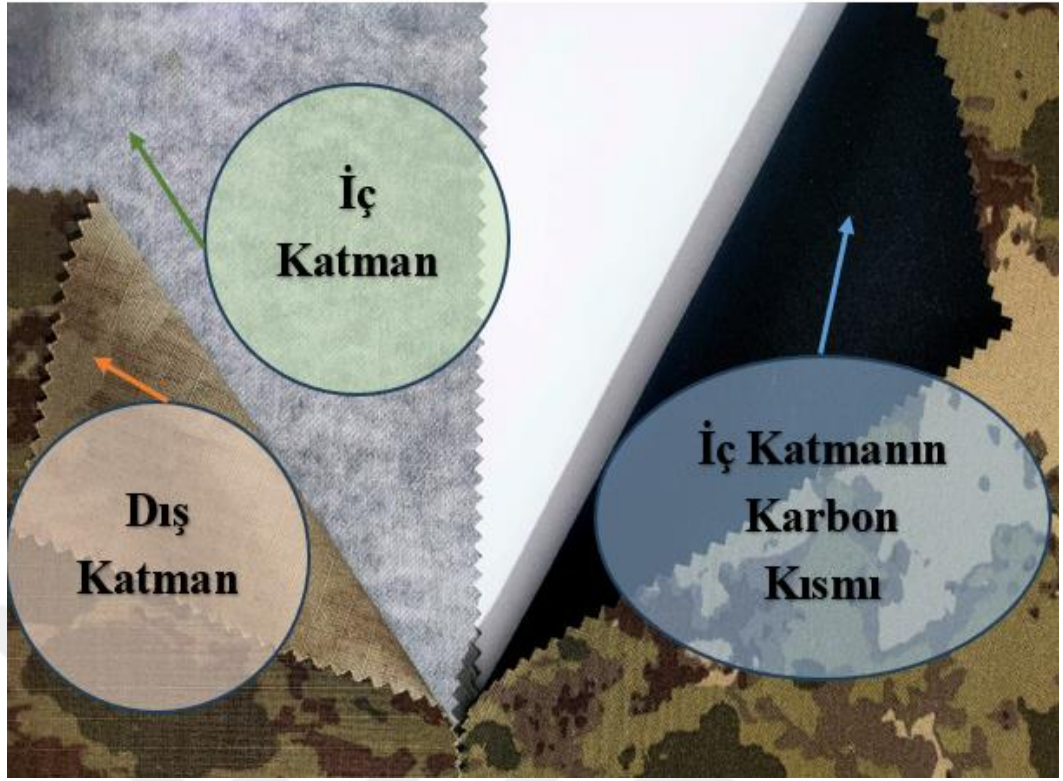


Şekil 1.6. C Tipi KBRN Koruyucu Elbisesi (<http://www.normltd.com>).

C tipi KBRN koruyucu elbisesi istenilen özelliklerde farklı seviyede aktif karbon içerikleri ile üretilseler de genel olarak üç katmandan oluşur. Dış kumaş sıvı kirliliklerine karşı koruyuculuğu bulunan sıvı iticiliğine sahip özel kumaş, ara kısımda bulunan kumaş aktif karbon entegre edilmiş kumaş ve hava alabilen iç kumaştan oluşur (Richardt ve ark 2012).

C tipi elbiselerin kumaşları farklı teknolojilerle üretilse de genel yaklaşım aktif karbon emdirilmiş, nefes alabilen kumaş üzerine inşa edilmiştir. C tipi koruyucu elbise takımının mevcut şartlardaki en kritik yetersizliği radyolojik ve nükleer unsurların yarattığı kirliliğe karşı yeterli koruma yüzdesine sahip olamaması. İlerleyen süreçte aktif karbon yapısıyla entegre edilmiş, radyolojik korunma potansiyeli olan seçici geçirgen kumaş tiplerinin tasarlanacağı düşünülmektedir (Khan).

Mevcut C tipi koruyucu elbiselerde kullanılan kumaş türü Şekil 1.7.'de verilmiştir.



Şekil 1.7. C Tipi Kumaş Örneği.

1.6. Aktif Karbon

Aktif karbon, endüstride farklı kullanım alanlarına sahip, düzensiz makro - mezo - mikro gözenekleri bulunan, yüzey alanı yüksek ve gözenekli yapıya sahip absorban maddedir.

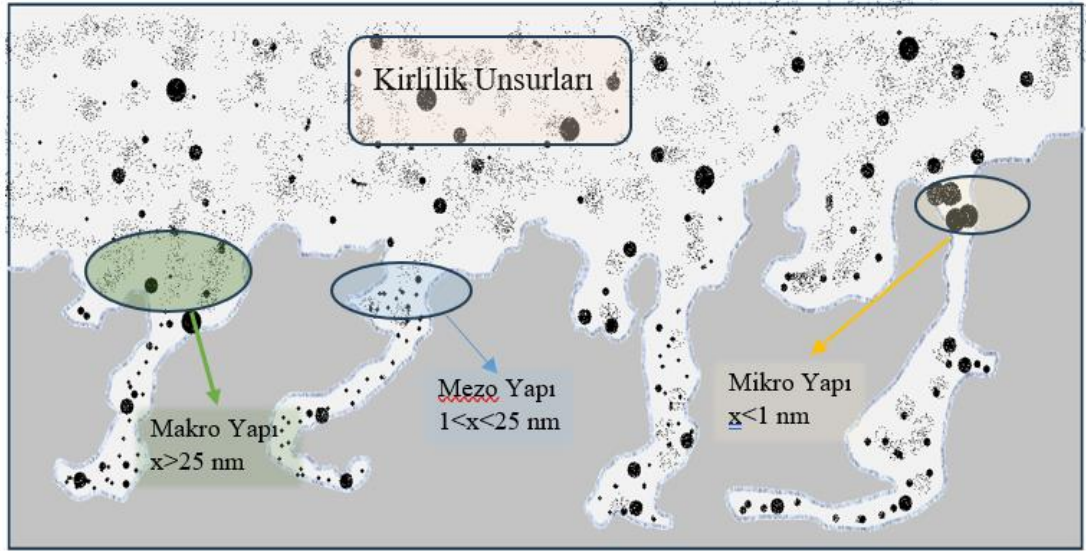
Aktif karbon, MÖ 1500'lü yıllarda tıbbi kullanım amacıyla kullanılmaya başlansa da sahip olduğu özellikler sayesinde kısa sürede farklı alanlarda kullanım potansiyeline kavuşmuştur. 18. yüzyılda Scheele ve arkadaşlarının kömür yüzeyinin adsorplama gücü üzerine yaptığı çalışmalarla aktif karbonun farklı alanlarda kullanımı için ilk adımları oluşturmuştur. Lowitz ve arkadaşlarının 1785 yılında çeşitli çözeltilerde renk giderimi konusunda çalışmaları ile aktif kömürün sıvı faz üzerinde çalışmalarına temel hazırlamıştır. Aktif karbonun yaygınlaşmasını sağlayan ana unsur ise 1794 yılında şeker üretiminde istenmeyen renklerin giderilmesi amacıyla aktif karbonun kullanılması olmuştur. Bu gelişmelere paralel olarak suların arıtılmasında, kirli gazın absorbe edilmesinde, renk giderilmesinde ve nihai olarak Birinci Dünya Savaşında kimyasal ajanların etkilerinden korunmak için filtrelerde kullanılmıştır (Bubanale ve Shivashankar 2017).

Aktif karbonun hammaddesi olarak yüksek karbon yapısına sahip; biyokütleler, orman atıkları ve tarımsal atıklar kullanılmaktadır (Marsh ve Reinoso 2006, Prahas ve ark 2008). Aktif karbonun üretiminde farklı yöntemler uygulansa da temel olarak iki adımda gerçekleştirilir; karbonizasyon ve aktivasyondur. Aktivasyon safhası iki farklı yöntemle yapılabilir. Bu yöntemler kimyasal aktivasyon ve fiziksel aktivasyon olarak farklı prosedürlere sahip iki yöntemle takip edilir. Bu yöntemler aktif karbonun uygulama alanına göre seçilerek aktif karbon üretimi gerçekleştirilir (Gülensoy ve Şengil 1981).

Aktif karbonlar farklı kullanım alanlarına göre 3 farklı kategoride incelenir. Bunlar; toz aktif karbon, granüler aktif karbon ve pelet aktif karbondur (Küçükgül 2004). Toz aktif karbon; 0.18 mm'den küçük olan genellikle öğütülerek küçültme işlemi uygulanan aktif karbon türüdür. Parça boyutu sayesinde genellikle sıvı faz uygulamaları ile gaz arıtımında kullanılır. Granüler aktif karbon; 0.2 - 5 mm aralığındaki düzensiz boyutlarda bulunan aktif karbon türüdür. Parça boyutu ve düzensiz dağılımı sayesinde sıvı ve gaz fazı uygulamalarında sıklıkla tercih edilir. Pelet aktif karbon; yüksek basınçta sıkıştırılarak 0.8 - 5 mm çapında, silindirik şekilde üretilen aktif karbondur. Yüksek mekanik dayanıklılığı ve düşük toz içeriği sayesinde gaz fazı uygulamalarında tercih edilir (Gülensoy ve Şengil 1981, Marsh ve Reinoso 2006).

Aktif karbon yapısının standart olmaması ve değişik büyüklüklerde olması gözenek yarıçapları hakkında boyutlandırma yoluyla yorumlanmaktadır. Adsorpsiyon prosesleriyle ilgili gözeneklerin boyutlandırılması IUPAC standartlarında mikro, mezo ve makro gözenek olarak sınıflandırılır. Mikro gözenekler; yarıçapı 1 nm'den küçük, mezo gözenekler; yarıçapı 1 - 25 nm arasında olan ve makro gözenekler; yarıçapı 25 nm'den büyük olan gözeneklerdir (Küçükgül 2004).

Aktif karbon yüksek yüzey alanı sayesinde kirlilik unsurlarını absorbe etse de mikro yapılar kadar makro ve mezo yapılar da önemlidir. Makro ve mezo yapılar büyük moleküllü taneciklerin absorplanmasına yardım eder. Aktif karbonun absorplama örneğinin 3 boyutlu gösterimi Şekil 1.8.'de verilmiştir.



Şekil 1.8. Aktif Karbonun 3 Boyutlu Gösterimi

1.7. Polivinil Klorür (PVC)

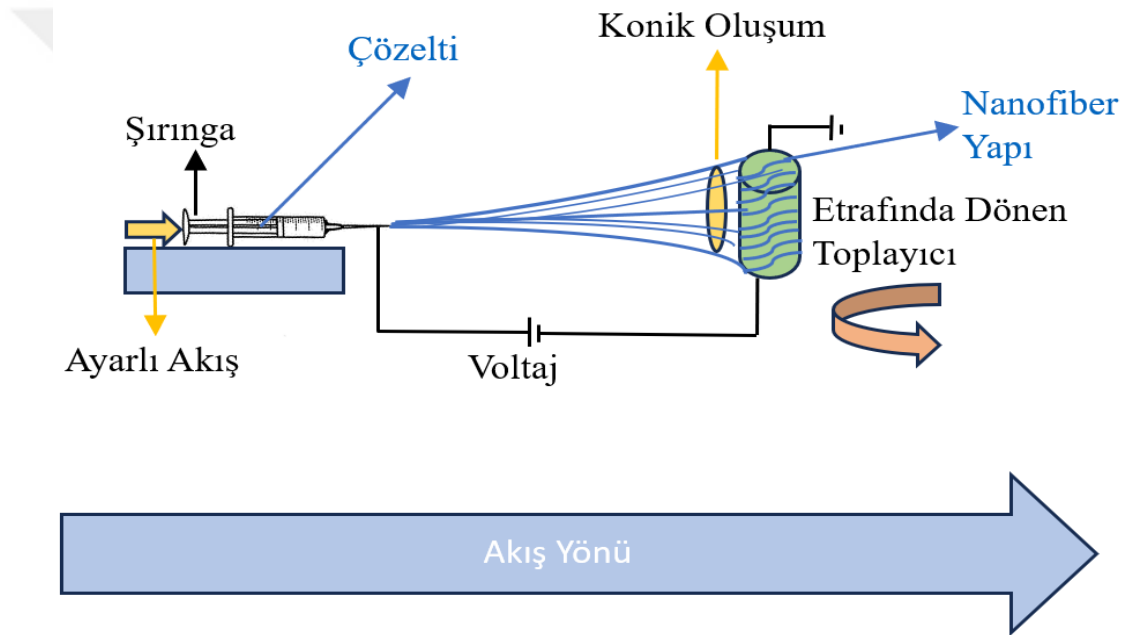
Plastikler; yüksek molekül ağırlığına sahip organik moleküllerden veya polimerlerden oluşan günlük yaşamın vazgeçilmez malzemelerinden olan şekil verilerek istenilen yapı kazandırılabilen maddelerdir. Plastiklerin; dayanıklı, hafif, düşük maliyetli, esnek, biçimlendirilebilen, yalıtkan ve tekrar dönüştürülebilir yapıya sahip olmaları birçok avantaj sağlayarak hemen her sektörde kullanım alanı ortaya çıkartır (Güler ve Çobanoğlu 1997).

Plastik türlerinden olan polivinil klorür 1931 yılında Almanya’da üretilerek en önemli plastik hammaddelerinden biri olmuştur. PVC üretiminde vinil klorür ($\text{CH}_2=\text{CHCl}$) oluşturarak tepkimeye giren etilen ve klordan kullanılır. Vinil klorürlerin birleşerek polimer oluşturmalarıyla PVC elde edilir. Beyaz toz veya renksiz granül şeklinde bulunan PVC; asidik karakterli maddelere, farklı yağ türlerine ve hidrokarbonlara karşı dayanıklı olmasının yanı sıra yalıtkan özelliğe sahiptir. Plastik borular ve levhalar gibi farklı birçok alanda kullanımı olan PVC; geri dönüştürülebilir, esnek ve kolay işlenebilir yapısı sayesinde avantaj sağlar (Güler ve Çobanoğlu 1997, Braun 2002).

PVC birçok çözücünde kolaylıkla çözülerek farklı alanlarda kullanılabilir. Dimetilformamide ve tetrahidrofuran gibi farklı çözücülerde belirli şartlarda ve sürelerde sıvı hale getirildikten sonra sertleşerek eski formuna gelebilir (Titow 2012).

1.8. Elektroeğirme Yöntemi

Elektroeğirme yönteminin temeli; polimer çözeltisinin örnekleme ünitesine yerleştirilip, metal iğne ucu ile belirli oranda püskürtülerek toplayıcı yüzey arasında bir elektriksel alan oluşturulması prensibine dayanır. Kontrollü şekilde sağlanan elektrik yükü sayesinde çözeltideki negatif yükler yüzey gerilimine karşı kuvvet oluşturarak elektrik alanı doğrultusunda hareket ederek fiberler oluşur. Elektrik yükü konik formda damlacıklar oluşturur ve polimer jetleri oluşur. Polimer jetlerinin toplayıcı yüzey ile arasında oluşturduğu çekim alanı ile nanofiber yapılar meydana gelir (Taylor 1964).



Şekil 1.9. Elektro Eğirme Yönteminin Akış Şeması.

Elektro eğirme yönteminde nanofiber yapının özelliklerine etki eden faktörler; çözelti, ortam ve üretim parametrelerinden oluşmaktadır. Çözelti değişkenleri; çözeltinin viskozitesi, yüzey gerilimi, molekül ağırlığı ve iletkenliğinden oluşan çözeltinin birleşim oranlarının değiştirilerek farklılıklara sebep olacak parametrelerdir. Ortam parametreleri ise sıcaklık ve ortamın nemi ile ilişkilendirilir. Üretim parametreleri ise; uygulanan kontrollü elektriksel güç, iğne ucu - toplayıcı mesafesi, çözeltinin akış hızı, toplayıcı türü, toplayıcı dönüş hızı ve iğne çapı ile değerlendirilir (Deitzel ve ark 2001, Beachley ve Wen 2009).

Elektro eğirme yöntemiyle üretilmek istenen nanofiber maddelerin istenilen özelliklere sahip olması için parametrelerin optimum koşullarının belirlenmesi kritik unsurdur. Elektro eğirme yöntemi yardımıyla üretilen nano fiber yapıdaki malzemeler; kimyasal ve biyolojik koruyucu malzemelerin yapımında, gaz algılama malzemelerinin hammaddeinde, nem algılama, foto algılayıcı malzemeler, solar giysiler, yara örtüleri ve doku iskeleleri gibi farklı uygulama alanlarında kullanılır (Wendorff ve ark 2012).

1.9. Yüzey Alanı Ölçümleri

Yüzey alanı çeşitli yöntemlerle genişletilen katıların adsorpsiyon yeteneklerinin belirlenmesi amacıyla farklı teoriler ortaya atılarak gözlemler yapılmıştır. Yüzey alanlarının hesaplanması farklı yöntemlerle yapılsa da temel prensip adsorpsiyona dayalı formalizasyonları ve izotermi içerir. Yüzey alanının hesaplanmasında kullanılan en geçerli teorilerden biri Langmuir ve BET teorileridir. Gaz adsorpsiyonu yöntemi ile gerçekleştirilen yöntemler gözenekli katıların adsorplama kapasitelerini ve etkin yüzey alanını hesaplamada etkili yöntemlerin başında gelmektedir (Ebadi ve ark 2009).

Adsorpsiyon kapasitesi başlangıç derişiminden dengedeki derişimin çıkartılarak adsorbent miktarına bölünmesiyle bulunabilir. Adsorpsiyon kapasitesinin denklemi;

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \quad (\text{Denklem 1.2.})$$

q_e : Adsorban denge kapasitesi (mg/g veya mol/g)

C_e : Giderilen madde derişimi (mg/L veya mol/L)

C_0 : Çözültideki başlangıç derişim (mg/L)

V : Deney hacmi (L)

m : Adsorbent miktarı (g)

1.9.1. Langmuir Teorisi

1918 yılında Langmuir tarafından geliştirilen teoriye göre, gaz molekülleri katı yüzey üzerinde tek katman oluşturarak gözenekli katının yüzey alanı bulunabilir. Bu teoriye göre adsorpsiyon işleminin kimyasal adsorpsiyon safhasını açıklamak için kullanılan teorilerdendir (Ebadi ve ark 2009, Liu ve ark 2019). Teoriye göre bazı kabuller yapılmış ve oluşturulan izoterm bu kabuller ile açıklanmıştır. Langmuir teorisine göre; adsorpsiyon tek tabaka halinde oluşur ve maksimum adsorpsiyon adsorplayıcı yüzeyine bağlanan moleküllerin doymuş bir tabaka oluşturduğu andaki adsorpsiyonu ifade eder, adsorpsiyon işlemi lokalize gerçekleşir, adsorplanan moleküller yüzey üzerinde hareket edemezler, adsorpsiyon entalpisi ile yüzey kaplanması birbirinden bağımsız olaylardır, yüzey homojen enerjiye sahip olarak tüm noktalar aynı adsorpsiyon kapasitesine sahiptir, adsorplanan moleküller arası etkileşim yoktur, adsorpsiyon işlemi tek mekanizma üzerinden ilerler, desorpsiyon sadece yüzeyde adsorplanan madde miktarı ile alakalıdır ve yüzey homojen dağılım sergiler (Ebadi ve ark 2009, Kul ve ark 2019, Liu ve ark 2019).

Langmuir izotermi adsorpsiyon sürecini açıklamak için kullanılan en basit ve teorik uygulamalardan biridir. Langmuir teorisine göre kurulan denklem 1.3.'de verilmiştir.

$$q_e = \frac{q_{max} \times b \times C_e}{1 + b \times C_e} \quad (\text{Denklem 1.3.})$$

q_{max} : Maksimum adsorban kapasitesi (mg/g veya mol/g)

q_e : Adsorban denge kapasitesi (mg/g veya mol/g)

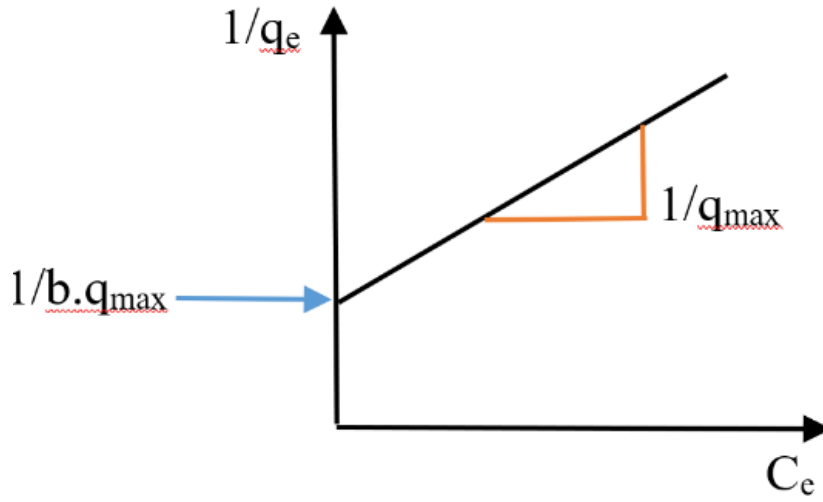
b : Langmuir sabiti (L/g)

C_e : Giderilen madde derişimi (mg/L veya mol/L)

Langmuir izoterm denklemi doğrusallaştırılarak işlem yapılırsa;

$$\frac{q_e}{C_e} = \frac{1}{b \times q_{max}} + \frac{1}{q_{max}} \times C_e \quad (\text{Denklem 1.4.})$$

Langmuir denkleminin doğrusallaştırılmış halinin izoterm grafiğinde gösterimi Şekil 1.10.'da verilmiştir.



Şekil 1.10. Langmuir Grafiği.

Langmuir teorisinde yapılan kabullerin çıkarımında Langmuir izotermi temel karakteristikleri ayırma faktörü olarak adlandırılan R_L ile değerlendirilerek adsorpsiyonun istenilen seviyede olup olmadığı hakkında bilgi verir.

$$R_L = \frac{1}{1+b \times C_0} \quad (\text{Denklem 1.5.})$$

C_0 : Çözeltideki başlangıç derişim (mg/L)

b : Langmuir sabiti (L/g)

Buna göre; R_L adsorpsiyon prosesinin adsorpsiyon şiddetini tayin ederek istenilen özelliklerde olduğunu belirtir (Hameed ve ark 2007).

$R_L > 1$ Uygun değil.

$R_L = 1$ Doğrusal.

$0 < R_L < 1$ Uygun.

$R_L = 0$ Tersinmez şeklindedir.

1.9.2. BET Teorisi

BET teorisi Langmuir teorisinin geliştirilerek çok tabakalı adsorpsiyon temelinde oluşturulmuş teoridir. Teorinin genel yaklaşımı gaz kondenzasyonunda

etkili kuvvetler aynı zamanda çok tabakalı adsorpsiyonda da bağ enerjileri ile ilişkili olmasıdır. Sonsuz tabaka için genelleştirilmiş denklem;

$$q_e = \frac{q_s \times C_{Bet} \times C_e}{(C_s - C_e) \left[1 + (C_{Bet} - 1) \times \left(\frac{C_e}{C_s} \right) \right]} \quad (\text{Denklem 1.6.})$$

C_{BET} : BET adsorpsiyon izotermi (L/mg)

C_s : Adsorbantın tek tabakalı doyumluk konsantrasyonu (mg/L)

q_s : Teorik izoterm doyumluk kapasitesi (mg/g)

q_e : Denge adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Hammadde Seçimi ve Hazırlanması

Günümüz ihtiyaçları doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç artarak devam etmekte ve fosil kaynakların kullanımı konusunda ülkelerin almış olduğu önlemler ve kısıtlamalar da paralelinde önem kazanmaktadır. Fosil kaynakların yakma proseslerinde verimli şekilde kullanılamaması ve CO₂ salınımı ile hem çevreye olumsuz etkisi hem de sürdürülebilir enerji kaynağı sağlamaması sebebiyle farklı proseslerde değerlendirilmektedir (Doğan 2011). Yakma proseslerinde fosil kaynaklarla birlikte atık biyokütlelerin de kullanılması doğal kaynakların potansiyel özelliklerinin kullanılamamasına sebep olmaktadır. Biyokütlenin sahip olduğu özelliklere göre farklı proseslerde kullanılarak sürdürülebilir, katma değeri yüksek ve süper malzemeler üretilebilmektedir (Altınışık ve ark 2023).

Aktif karbon üretimi için; karbon miktarı fazla, selüloz değeri yüksek, atık olarak kullanılan, yeteri kadar üretim potansiyeli bulunan, maliyeti ucuz ve elde edilmesi kolay hammaddeler incelenmiştir. Ülkemizde yakma maddesi olarak kullanılan fındık kabukları çalışma için gerekli özelliklere sahip olması sebebiyle hammadde olarak seçilerek aktif karbon sentezi için hazırlanmıştır.

Çalışmada kullanılan fındıklar Trabzon ilinden temin edilmiştir. Ülkemizde üretilen fındık kabuklarının fiziksel ve kimyasal yapısı incelendiğinde aktif karbon üretimi için oldukça elverişli yapıya sahip olduğunu söyleyebiliriz (Dönmez ve ark 2016).

Tablo 2.1. Fındık Kabuğu Analizi (Demirbaş 1999)

Parametre	Fındık Kabuğundaki Yüzdesi
Karbon	50.8
Hidrojen	5.2
Azot	1.4
Oksijen	42.6

Tablo 2.2. Fındık Kabuğu Selüloz Analizi (Demirbaş 1999)

Parametre	Fındık Kabuğundaki Yüzdesi
Lignin	44.4
Selüloz	26.9
Hemiselüloz	28.7
Nem	8.7
Kül	1.3

Hammadde olarak alınan fındık kabukları aktif karbon üretmek amacıyla kirlilik unsurlarından arındırılmak üzere yıkanarak 80 °C’de etüvde 24 saat boyunca kurutma işlemine tabi tutuldu. Temizlenerek kurutulan fındık kabukları karbonizasyon ve aktifleştirme safhalarında daha iyi sonuç alınabilmesi maksadıyla boyut küçültme işlemi uygulandı. İstenilen boyutlara indirgenen fındık kabukları elek vasıtasıyla boyutlandırıldı. Bu işlem sonrasında istenmeyen toz parçaları ve fındık kabuğunun iç kısmında bulunan ince zar kısmı giderilerek hammadde hazırlandı.



Şekil 2.1. Fındık Kabuklarının Boyut Küçültmesi

2.2. Proses Seçimi

Aktif karbon üretim prosesleri temelde aktivasyon ve karbonizasyon safhalarından oluşmaktadır. Aktivasyon aşaması kimyasal ve fiziksel aktivasyon olarak iki türlü yapılabilmektedir. Fiziksel aktivasyon genellikle ticari maksatla üretilen, yüzey hacmi nispeten daha az ve fazla miktarlarda üretim için uygun aktivasyon yöntemidir. Kimyasal aktivasyon ile üretimde ise yüzey hacmi geniş ve gözenekli yapıya sahip aktif karbon üretilmektedir (Gülensoy ve Şengil 1981). Çalışma kapsamında kimyasal aktivasyon prosesi seçilerek hammadde ve aktifleştiriciler hazırlanmıştır.

2.3. Aktifleştirici Maddenin Hazırlanması

Kimyasal aktifleştirme prosesinde aktifleştirici kimyasal madde olarak kullanılan kimyasallar; H_3PO_4 , H_2SO_4 , KOH, NaOH ve $ZnCl_2$ kullanılmaktadır (Paraskeva ve ark 2008). Kimyasal aktivasyon aşamasında aktive edici maddeler hammadde ile birlikte karıştırılabilir veya çözelti ile karıştırılarak aktifleştirme işlemi yapılır (Ahmadpour ve Do 1997). Kimyasal aktivasyon ile hammaddenin gözenek yapısı açılarak gözenek yarıçapı ve gözenek hacmi artar (Wazir ve ark 2022). Hammadde hazırlandıktan sonra seçilen aktifleştirici maddeler ($ZnCl_2$, H_3PO_4 ve KOH) kütlece % 20, % 30 ve % 40 sulu çözelti oluşturacak şekilde hazırlandı.

2.4. Kimyasal Aktivasyon

Hammadde aktifleştiricilerle karıştırıldıktan sonra üstü kapatılarak 4 saat 80 °C’de manyetik karıştırıcıda aktivasyon işlemi tamamlanmıştır. Aktivasyon işlemi sonrasında hammaddenin hacimce şiştiği gözlenerek istenilen amaca ulaşılmıştır. Çinko klorür içeren hammaddenin gözenek hacminin daha fazla arttığı gözlenmiştir.

H_3PO_4 aktifleştiricisi içeren fındık kabuklarının diğer örneklerden farklı olarak aktivasyon işlemi sırasında renk değiştirerek şiştiği gözlenmiştir. Aktivasyon işlemi sonrasında H_3PO_4 örneği (Ebadi ve ark) ile $ZnCl_2$ örneğine (sağ) ait içerik Şekil 2.2.’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Aktivasyonu Tamamlanan Fındık Kabukları.

Aktive edilen fındık kabukları içerisindeki kirliliklerin ve aktifleştiricilerin giderilmesi için yıkanarak etüvde 24 saat 80 °C’de neminden arındırıldıktan sonra kimyasal aktivasyon işlemi tamamlanmıştır. Etüvde kurutma işlemine ait içerik Şekil 2.3.’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Etüvde Kurutma İşlemi.

2.5. Karbonizasyon

Karbonizasyon aşamasında hammaddeye temel gözenek yapısı oluşturularak absorbe etme özelliği kazandırılır. Karbonizasyon temelde kömürleştirme prosesleri ile aynı prensibe dayanır. Karbonizasyon aşamasında kül fırını kullanılır. Kül fırınının ısıtma hızı, karbonizasyon sıcaklığı ve fırında kalma süresi gözenek yapısına doğrudan etki eden parametrelerdir (Tobi ve ark 2019). Hammaddeye bağlı olarak optimum gözenek yapısı için karbonizasyon sıcaklığı 700 - 900 °C, ısıtma hızının ani olmaması ve 30 - 60 dakika karbonizasyon süresi belirlenmiştir (Cagnon ve ark 2003).

Kimyasal aktivasyon işlemiyle gözenek yapısı artan hammaddeler karbonizasyon için hazırlanmıştır. Karbonizasyon 900 °C'de 45 dakika boyunca yapılarak aktif karbon yapıları oluşturulmuştur. Deney sonucunda elde edilen aktif karbonlar ihtiva ettikleri kül ve diğer kirleticilerin giderilmesi için saf su ile yıkanarak etüvde 24 saat 80 °C'de nemden arındırılmıştır.

Karbonizasyon için hazırlanan örnek (a) ve kül fırınına yerleştirilen fındık kabuklarına ait örnekler (b) Şekil 2.4.'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Karbonizasyon Örnekleri (a), Kül Fırınına Yerleştirilen Örnekler (b).

Deney sonucunda elde edilen aktif karbonlar ihtiva ettikleri kül ve diğer kirleticilerin giderilmesi için saf su ile yıkanarak etüvde 24 saat 80 °C'de nemden arındırıldıktan sonra BET ve SEM analizlerinin yapılması için boyutlandırılmıştır.

Deney sonunda elde edilen aktif karbon örneği Şekil 2.5.'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Karbonizasyon Sonucu Elde Edilen Aktif Karbon.

2.6. Yüzey Alanı Ölçümü Analizi

BET yüzey alanı ölçümü; -196°C 'deki sıvı azot ortamında azot (N_2) gazı adsorpsiyonu tekniğine dayalı olarak katıların m^2/g olarak yüzey alanları ölçülmektedir. Özellikle katı maddelerin kendi aralarındaki kristal yapı farklılıklarının ve aynı maddenin farklı sıcaklıklarda ısıtılma işlem görmesi veya asit vb. kimyasallarla muamelesi sonucunda mikroyapılarında meydana gelen değişikliklerin incelenmesini sağlar. Asgari $0.01 \text{ m}^2/\text{g}$ değerine kadar ölçüm yapılabilir (Hwang ve Barron 2011).

BET yüzey alanı ölçümü için aktif karbonlar küçültülerek boyutlandırma işlemine tabi tutuldu. BET örneği için hazırlanan aktif karbon örneği Şekil 2.6.'da verilmiştir.

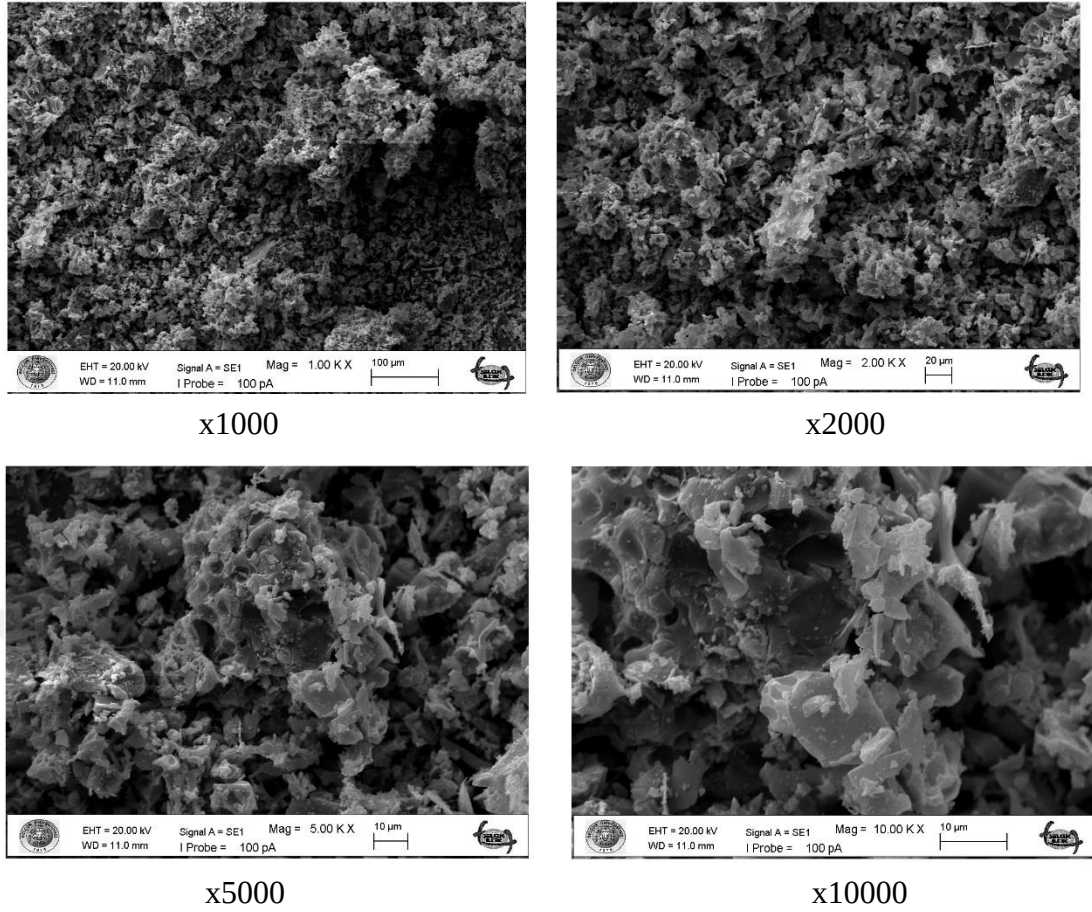


Şekil 2.6. BET Analiz Örneği İçin Boyutlandırılan Aktif Karbon

2.7. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi

Taramalı Elektron Mikroskobu veya SEM analizi, yüzey kırıkları, kusurlar, kirleticiler veya korozyon için çeşitli malzemeleri analiz etmek için yüksek çözünürlüklü görüntüleme sağlar. SEM analizi, malzeme özelliklerinin incelemesini sağlar. SEM analizinde, bir numunenin yüzey topografyasının karmaşık, yüksek büyütülmüş görüntülerini üretmek için odaklanmış bir elektron demeti kullanılır. Numune üzerinde bir ilgi alanı belirlendikten ve SEM kullanılarak değerlendirildikten sonra enerji dağıtıcı x - ışını spektroskopisi kullanarak malzemenin ayrıntıları incelenebilir (Schreiber ve ark 2006).

SEM analizi sonrasında elde edilen veriler Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. SEM Analizi Sonucunda Elde Edilen Veriler.

2.8. Polivinil Klorür (PVC) Çözeltisinin Hazırlanması

PVC tuz ve petrol bazında üretilen termoplastik bir üründür. Petrolün türevlerinden olan etilenin klorlü ortamdan geçirilmesi ile elde edilen vinil klorür monomerlerinin uygun katalizör kullanılarak çok sayıda vinil klorür monomerlerinin bir araya getirilmesi ile polivinil klorür elde edilir (Yang ve Geil 1983). PVC kolay uyum sağlayan, ekonomik ve yaygın ve dayanıklı plastik cinslerinden biridir. Oyuncak, tıbbi araç gereçler, boya, yiyecek içecek kapları, sulama boruları gibi hayatın her alanında kullanılmakta ve modern dünyada hızla yaygınlaşmaktadır (Birbilen ve ark 2022).

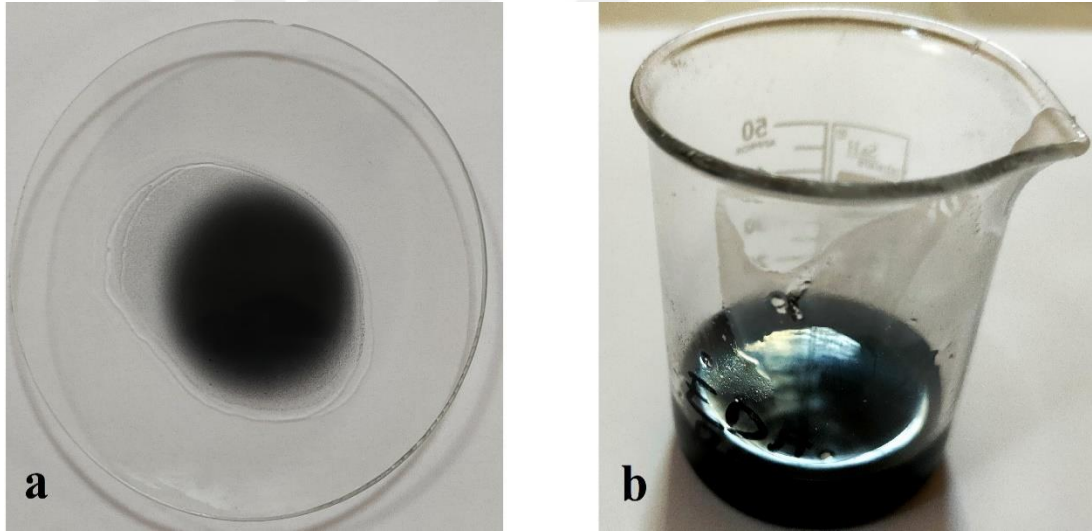
Elektrospinning cihazında püskürtme yapılabilmesi için PVC 1:1 oranında dimetilformamid ve tetrahidrofuran ile çözülerek sıvı çözelti haline getirilmiştir.

2.9. Aktif Karbonun Şişirilmesi

Aktif karbonun yapısı itibarıyla homojen çözelti oluşturması beklenmez. Bu sebeple daha iyi gözenek yapısı kazandırılması maksadıyla aktif karbon parçacıkları uygun şişirici kimyasallar ile bağ yapısında değişiklikler meydana getirilir. Bu kimyasallar içinde en uygunu şişirici maddelerden biri olan kullanılmıştır (Tahmazoğlu ve Giray). Aktif karbon EDA ile 1:1 oranında şişirme işlemine tabi tutularak gözenek yapısının artırılması hedeflenmiştir.

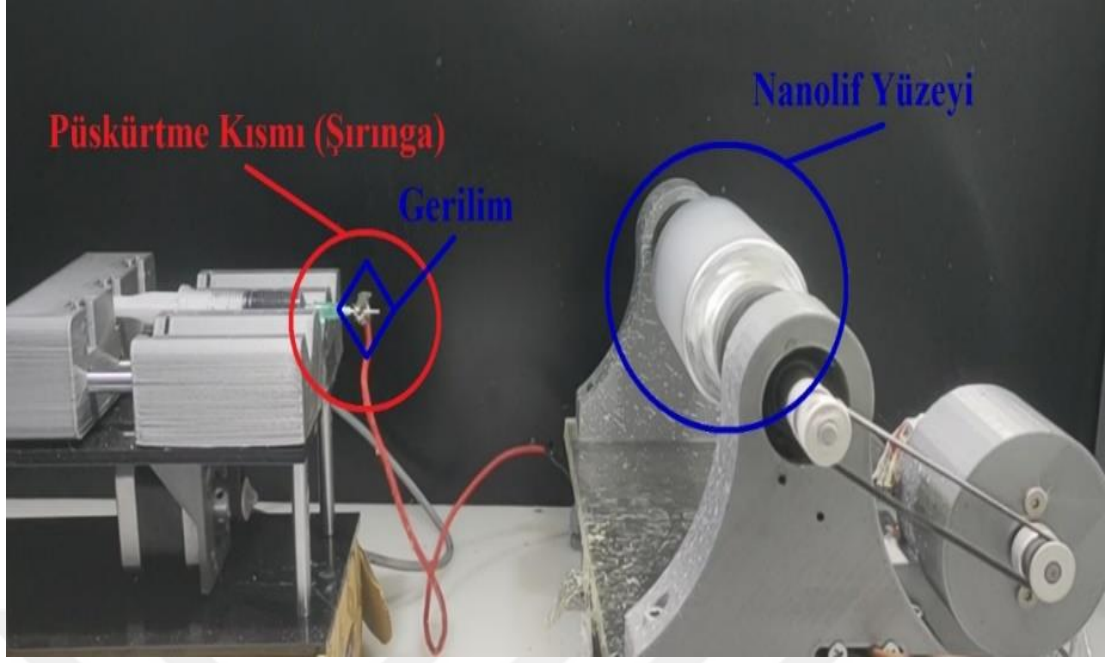
2.10. Elektro Eğirme Cihazı İle Nanolif Yapının Kazandırılması

Şişirilen aktif karbon ve PVC çözeltisi farklı oranlarda (1:1, 1:2, 1:3 ve 1:4) oranlarında çözelti oluşturacak şekilde hazırlandı. Hazırlanan örnekler Şekil 2.8.'de verilmiştir.



Şekil 2.8. Aktif Karbon Çözeltisi (a), Elektro Eğirme İçin Hazırlanan Örnek.

Hazırlanan PVC - aktif karbon karışımı nanolif yapı kazandırılmak üzere elektrospinning cihazı ile farklı parametrelerde (püskürtme mesafesi, gerilim, yüzey dönüş hızı ve püskürtme hızı) denemeler yapılarak optimum şartlar belirlenmiştir. Elektrospinning cihazı çalışma mekanizmasına ait açıklayıcı görsel Şekil 2.9.'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Elektro Eğirme Yöntemi.

3. BULGULAR

3.1. Kimyasal Aktivasyon

Kimyasal aktivasyon sonucunda bazı örneklerin beklenen düzeyde sonuç vermediği gözlenmiştir. Fındık kabuklarının gözenek yapılarının derinleştirilmesi amacıyla uygulanan süreçte $ZnCl_2$ ve KOH kullanılarak aktive edilen fındık kabuklarının gözle görülecek şekilde değişikliğe uğradığı, ancak H_3PO_4 kullanılarak hazırlanan örneklerin aktive edici maddenin özellikleri sebebiyle renk değiştirerek gaz çıkışı olduğu ve nispeten daha az düzeyde şiştiği gözlenmiştir. H_3PO_4 'ün %30'luk çözeltisi ile fındık kabuğu aktive edilirken yoğun gaz çıkışları gözlenmiştir. H_3PO_4 aktivasyonunda %30'luk çözeltilerin kullanılması istenilen sonucu vermemiştir. Kimyasal aktivasyon işlemi bazı kimyasallar için kabul edilebilir seviyede gerçekleştirilmiş, fındık kabuklarında renk değişimi ve gaz çıkışları gözlenmiştir.

Elde edilen veriler neticesinde; kimyasal aktivasyon işleminin daha uzun sürede ve daha düşük sıcaklıklarda yapılmasının aktivasyon sürecine katkı sağlayacağı değerlendirilmiştir.

3.2. Karbonizasyon

Aktive edilen fındık kabukları kül fırını vasıtasıyla karbonizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Karbonizasyon; 45 dakika boyunca 900 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Karbonizasyon süresince beklenildiği gibi yoğun duman çıkışı gözlenmiştir. Kül fırını yaklaşık 15 dakika sonra istenilen sıcaklığa ulaşmıştır. Ani şekilde yükselmeyen sıcaklık sebebiyle deney süresince parametre değişikliği yapılmamıştır.

Karbonizasyon sonucunda çıkartılan örnekler soğumaya bırakıldıktan sonra gözlem yapılmak üzere kül fırınından çıkartılmıştır. H_3PO_4 kullanılarak aktive edilen %30'luk örnekte bir miktar yanma gözlenmiştir. Deneysel hata olarak bu örneklerin kül fırınının köşe taraflarında olmasından kaynaklanabileceği değerlendirilmiştir. Söz konusu örnekler karbonizasyon için uygun olmadığı tespit edilerek analizleri yapılmamıştır. Sıcaklığın düşürülmesi ve kül fırının orta tarafına yerleştirilmesi ile %30'luk H_3PO_4 aktivasyonuna ait örneklerin istenilen sonuçları verebileceği değerlendirilmektedir.

$ZnCl_2$, ve KOH kullanılarak aktive edilen fındık kabuklarının karbonizasyon işlemi beklenen verimde gerçekleşmiştir. Ancak $ZnCl_2$ kullanılarak aktive edilen fındık kabuklarının karbonizasyon ürünleri daha dağınık olması sebebiyle karbonizasyon safhasının daha verimli olduğu gözlenmiştir. KOH kullanılarak aktive edilen örneklerin pelet şeklinde yer aldığı gözlenmiştir. Bu durumun karbonizasyon safhasında gözenek yapısına etki edeceği değerlendirilmiştir.

Numunelerin karbonizasyon safhasında uygun şekilde karbonize oldukları değerlendirilmiştir. Uygun görülen örnekler analizleri yapılmak üzere boyut küçültme işlemine tabi tutularak hazırlanmıştır. Karbonizasyon sonrası elde edilen örnekler Şekil 3.1.'de verilmiştir.

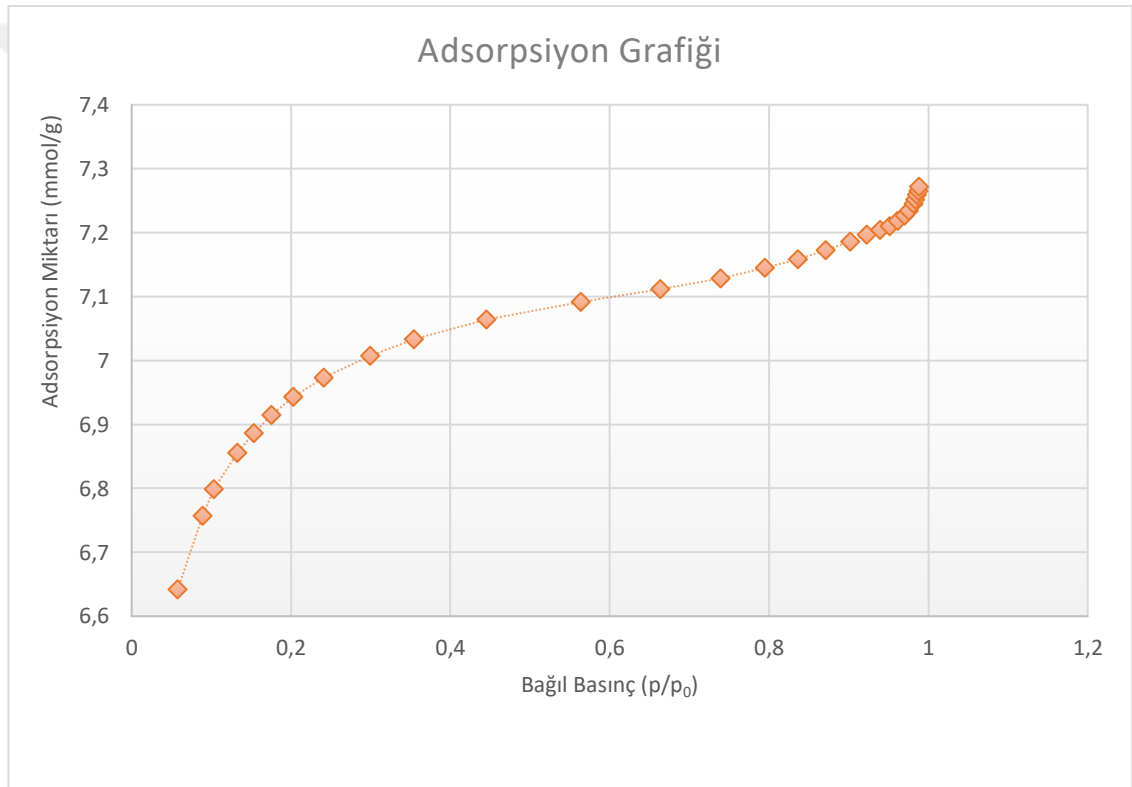


Şekil 3.1. Karbonizasyon Sonucu Elde Edilen Aktif Karbon.

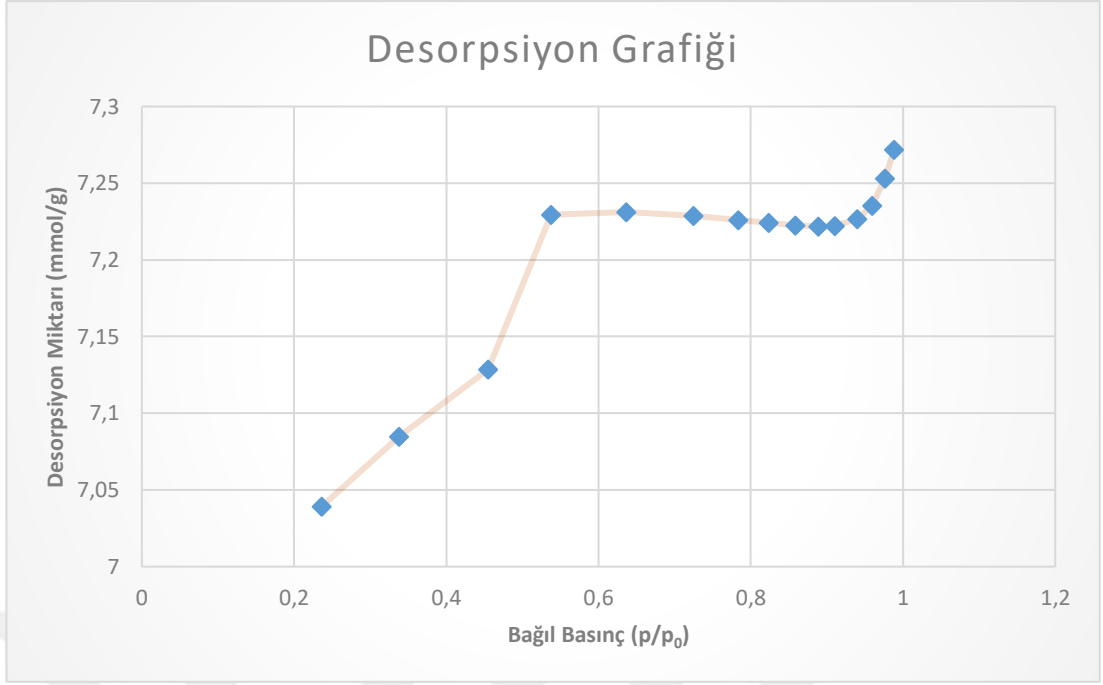
3.3. Aktif Karbonların BET Analizi

Elde edilen aktif karbonlar analiz için BET ölçümü yapılmıştır. Analiz; Micromeritics TriStar II 3020 model BET cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Deney süresince gözlenen sonuçlar neticesinde en uygun aktif karbonların ZnCl_2 kullanılarak aktive edilen örnekler olduğu değerlendirilmiştir. BET analizi sonucunda en yüksek yüzey alanı $522.69 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak %30'luk ZnCl_2 ile kimyasal aktivasyon yapılan örneğe ait olduğu belirlenmiştir.

BET sonucunda elde edilen veriler ışığında oluşturulan adsorpsiyon ve desorpsiyon grafikleri Grafik 3.1. ve Grafik 3.2.'de verilmiştir.



Grafik 3.1. Adsorpsiyon Grafiği.



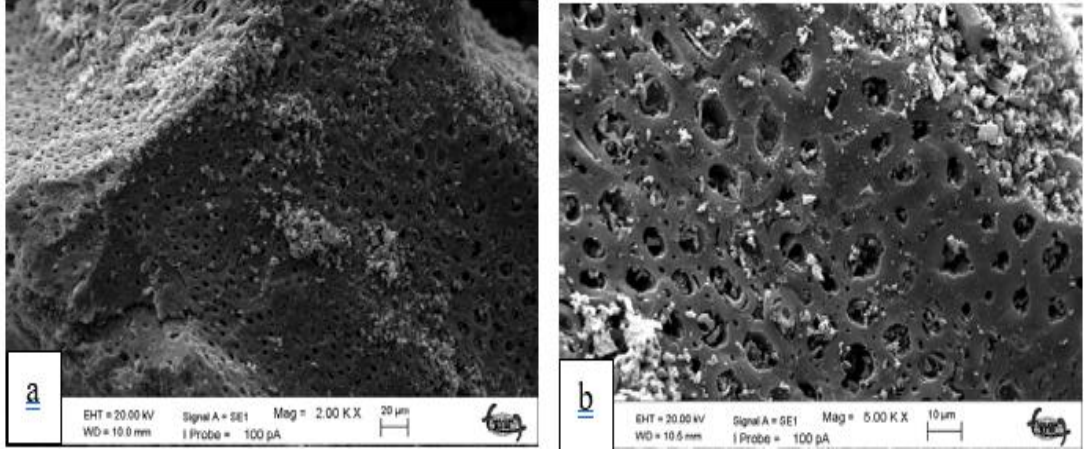
Grafik 3.2. Desorpsiyon Grafiği.

Adsorpsiyon grafikleri incelenen aktif karbonların Tip II BET izotermine uygun olduğu gözlenmiştir. Tip II izotermi yorumlanacak olursa; adsorbe edilen madde bağıl basınçla birlikte doğru orantılı arttığı, yani tek katmanlı adsorpsiyondan çok katmanlı adsorpsiyona geçildiği yorumlanır. Adsorpsiyon grafiğinde gösterilen 7 mmol/g çizgisinde aktif karbonun tek katmanlı adsorpsiyonu tamamlayıp çok katmanlı adsorpsiyona başladığı nokta olarak görülmektedir.

%30'luk $ZnCl_2$ aktif karbon örneğinin Langmuir yüzey alanı $690 \text{ m}^2/\text{g}$ olarak ölçülmüştür.

3.4. Aktif Karbonların SEM Analizi

BET analizi yapılan ve yüksek yüzey alanına sahip örnekler ($ZnCl_2$ ve KOH ile aktive edilen örnekler) SEM analizi için hazırlanmıştır. SEM analizi ZEISS EVO LS10 SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda istenilen gözenek yapısına en uygun örnekler %30'luk $ZnCl_2$ örnekleri ile yapılan çalışmalardır. Örneklerle ait SEM sonuçları Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Aktif Karbon SEM Analizi 2000x (a), 5000x (b).

SEM analizleri incelendiğinde istenilen yapının oluştuğu görülmektedir. Yüzeyde yer alan delikler sayesinde gaz absorpsiyonu için uygun madde yapısı kazandırılmıştır.

3.5. Nanolif Yapının Optimum Şartları ve SEM Analizi

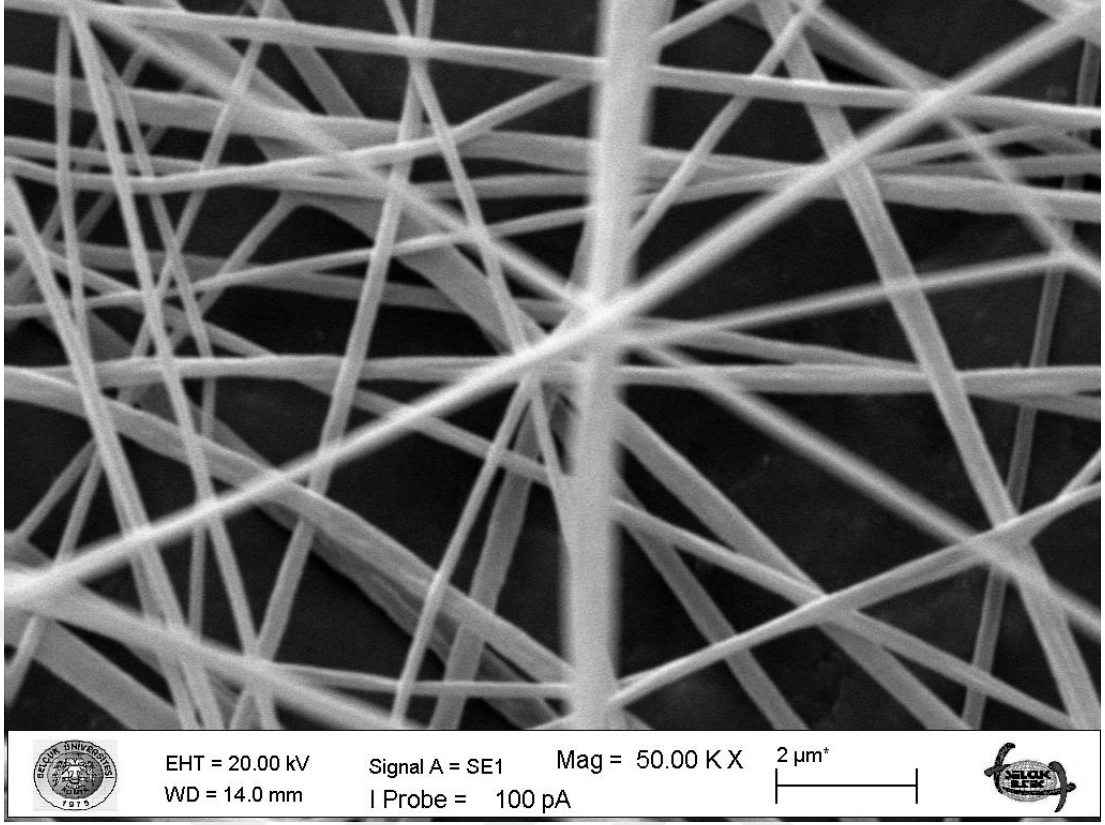
Nanolif yapısının optimum şartlarının belirlenmesi maksadıyla püskürtme hızlarında, dönem hızında, gerilimde ve püskürtme mesafesindeki parametreleri değiştirerek çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışma sonunda en uygun şartların 1ml/h püskürtme hızında, 500 Rpm dönme hızına sahip, 18 KV gerilimde ve püskürtme mesafesi 15 cm olan örneğe ait olduğu saptanmıştır. Çalışma sırasında bazı örneklerin istenilen sonuç vermediği gözlenmiştir. Optimum şartlarda üretilen PVC - Aktif karbon filtre tabakası Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Elde Edilen Nanolif Yapı.

Optimum şartlarda üretilen nanolif yapı SEM analizi yapılarak lif yapısı incelenmiştir. SEM analizinde istenilen yapının oluştuğu gözlenmiştir. Filtre yapısının hava geçişine engel olmaması ve lif yapılarının aktif karbonla birlikte topaklanma yapmaması beklenen sonucu vermiştir. Bu sayede aktif karbonunla birlikte nanolif yapının da gaz absorpsiyonuna fayda sağlayacağı, kirli havanın daha fazla yol katederek daha verimli filtreleme yapılacağı ve üç boyutlu modelleme yapılarak filtre yapısının sadece yatay eksenli değil farklı pozisyonlarda da yönlendirilebileceği öngörülmüştür.



Şekil 3.4. Nanolif Yapının SEM Analizi (x50.000)

Nanolif yapının istenilen özelliklerde üretildiği ve hava geçişi sağlayacak boşluklar barındırdığı görülmektedir. Yapının boşluk çapları üzerinde değişiklik yapılarak farklı alanlarda da değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

4. TARTIŞMA

Sürekli gelişmekte olan teknolojinin ve silah sistemlerinin kitlesel çapta yarattığı tehditler her geçen gün artmaktadır. Bu gelişmelere paralel olarak geliştirilmiş ve geliştirilme potansiyeli bulunan KBRN unsurlarının gelecekte de aktif tehditlerden olacağı kaçınılmazdır (Koblentz 2020). Her ne kadar uluslararası statüde birçok antlaşma ve protokol yer alsa da mevcudiyeti tehdit edilen her ülkenin başvuracağı yöntem olduğu herkes tarafından bilinmektedir.

Ülkelerin kimyasal silahların kullanımını kontrol altına almak adına birtakım sınırlamaların getirildiği Kimyasal Silahlar Sözleşmesi 1993 yılında imzaya açılmış, Türkiye de aynı yıl sözleşmeye taraf olarak kimyasal silahların üretilmeyeceği, stoklanmayacağı, geliştirilmeyeceği ve kullanılmayacağına dair taahhüt vermiştir. 2022 - 2024 yıllarında ülkemiz Kimyasal Silahların Yasaklanması Teşkilatının icra konseyi üyeliğini üstlenmektedir (Yağmuroğlu 2020).

Türkiye uluslararası statüde taraf olduğu antlaşmalar sebebiyle KBRN unsurlarına karşı savunma yöntemleri üzerinde çalışmalar yürütmektedir (Titiz 2021). Ülkemizde KBRN saldırılarına yönelik çalışma bulunmadığı gibi KBRN tehditlerinin üretimi ve stoklanması yönünde herhangi bir faaliyeti bulunmamaktadır.

Dünyada ve ülkemizde istenilen seviyede değerlendirilemeyen biyokütle kaynaklarının uygun proseslere hammadde olarak girdi yapılması son yıllarda en önemli çevre kirliliği çözümlerinden biri olarak yer almaktadır (Gündüz ve ark 2018). Bu kapsamda ülkemizde tarım atığı olarak yakma proseslerinde değerlendirilen fındık kabuklarının ve benzer özellikteki biyoatıkların aktif karbon ve benzeri faydalı iş modellerinde hammadde olarak kullanılması hem ülkemiz hem çevresel faktörler için faydalı olacaktır.

Fındık kabuklarından aktif karbon üretiminde farklı yöntemler yer alsa da temelde aynı prensiplere dayanmaktadır. Üretim parametrelerinin değiştirilmesi ve aktifleştirici maddelerin geliştirilmesi ile daha yüksek absorbe etme kapasitesine sahip maddeler üretilmesi sağlanacaktır. Yeni çalışmalar aktif karbon benzeri yapıya sahip metal organik kafes yapısında daha üstün özelliklere sahip absorbant madde üretilmesi üzerine odaklanmıştır (Kitagawa 2014). Ancak aktif karbon halihazırda en çok tercih edilen absorbant maddedir.

KBRN unsurlarına karşı en önemli ferdi koruyucu teçhizat olan gaz maskeleri, sadece solunum kirliliği değil aynı zamanda cilt kirliliğini de önlemektedir. Özellikle yakıcı gazların gözler üzerinde yarattığı tahribatın önlenmesinde maske kritik değere sahiptir. Mevcut maskeler belirli seviyede koruma sağlasa da kimyasal tehditlerin tamamına karşılık verememesi zayıf yönlerinden birini oluşturmaktadır. Mevcut KBRN filtreleri tüm gazlara karşı koruyuculuğa sahip değildir (Eser 2015). Ancak yapılan çalışmalar ve teknolojik gelişmelerle istenilen koruyuculuk seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Ülkemizde kullanılan KBRN filtrelerinin hammaddesi olan aktif karbon yakın zamana kadar ihraç yoluyla temin edilmekteydi. Günümüzde aktif karbon üretimi yapan firmaların artmasıyla ihtiyaç azalsa da bu konudaki açık devam etmektedir. Aktif karbon yapısının geliştirilmesi veya farklı yapılarla zenginleştirilerek daha uzun kullanım ömrüne sahip olması birincil istektir.

Çalışma sonunda elde edilen aktif karbonlardan en uygun yüzey alanına sahip olan örnek %30'luk $ZnCl_2$ ile aktive edilen örnektir. Bu örneğin yüzey alanı analizinde $522.69 \text{ m}^2/\text{g}$ olduğu tespit edilmiştir. Uygun koşullarda üretilen aktif karbonun yüzey alanı $400 - 1000 \text{ m}^2/\text{g}$ olmakla birlikte farklı amaçlar doğrultusunda değişik sektörlerde kullanılır (Küçükgül 2004). Proje kapsamında üretilen aktif karbon yüzey alanının uygun özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Aktif karbonun absorplama kapasitesinin yanı sıra kirlilik unsurlarının barındırdığı büyük moleküllü tanecikleri de süzebilmesidir. Aktif karbon yapısının kılcal yapı oluşturması istense de büyük porlara sahip olması da filtrelemede istenen özelliklerdendir. Bu sebeple aktif karbon sadece yüzey alanıyla değil por çapları açısından da önemli çıkarımlara tabi tutulmalıdır (Açıkyıldız ve ark 2014). Ancak standart yapıda olmayan aktif karbon yapıları ortalama por çapı cinsinden değerlendirmeye tabi tutulmaktadır.

KBRN filtrelerinin kullanım ömrü hakkında kesin bilgi bulunmamaktadır. Bazı kaynaklarda ağırlık artışından filtre ömrünün bittiğine dair bilgi edinebileceği söylenece de net bir cevap verilememektedir. Özellikle KBRN ortamında maskelerdeki filtre ömrünün bilinmezliği konu üzerine çalışmayı zorunlu hale getirmektedir. Filtre ömrünün uzatılması kadar kalan ömrü hakkında bilgi sahibi olmak önemli

isteklerdendir. Alternatif çözümler denense de henüz filtre ömrünün denetleneceği sistem geliştirilememiştir (Wood ve Chakraborty 2018).

Elektro eğirme metoduyla nanolif üretiminde parametreler incelenerek en uygun şartlar belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonunda en uygun şartların 1ml/h püskürtme hızında, 500 Rpm dönme hızına sahip, 18 KV gerilimde ve püskürtme mesafesi 15 cm olan örneğe ait olduğu saptanmıştır. (Çetin ve ark 2022) PVC ile elektro eğirme işlemi yaptıkları çalışmada elde edilen veriler analiz edildiğinde belirlenen optimum şartların, filtre çalışması kapsamında elde edilen verilerle benzer olduğu tespit edilmiştir.

Ortamdaki kimyasal sıvı kirliliklerin tespit edilmesi için geliştirilen kimyasal tespit kağıtlarının geliştirilerek gaz tespitinde de kullanılacak hale getirilmesi sağlandığı takdirde, nanolif yapısının bu madde ile sentezlenerek üretilmesi yönünde çalışma yapılabilir (Emge ve ark 2022). Bu sayede hem filtrenin renk koduyla hangi gaz türüne maruziyet yaşandığı tahmin edilebilir hem de filtre ömrü hakkında bilgi edinilebilir.

Çalışma kapsamında üretilen nanolif yapının sadece fiziksel artıma değil kimyasal arıtmada da kullanılabileceği görülmüştür. Tip II adsorpsiyon grafiği adsorpsiyonun kimyasal adsorpsiyon olduğunu göstermektedir (Akgün).

Aktif karbon üretiminde aktivasyon süresinin arttırılması, fındık kabuklarının boyutlarında daha küçük tanelerin seçilmesi, aktifleştirici maddelerin değiştirilmesi veya karma yapılması, karbonizasyon sıcaklığının değiştirilmesi, karbonizasyon sıcaklığının artış hızının değiştirilmesi ve aktif karbon şişiricilerin değiştirilmesi yüzey alanına ve por çaplarına doğrudan veya dolaylı olarak etki gösterebilecek parametrelerdir (Ioannidou ve Zabaniotou 2007).

Üretilen aktif karbonun PVC ile çözelti oluşturarak elektro eğirme yöntemine tabi tutulması nispeten daha homojen yapıda filtre tabakasının oluşturulmasını sağlamıştır. Deney süresince farklı parametreler incelenerek optimum şartlar bulunmuştur.

Proje farklı Ar-Ge çalışmaları için uygun çalışmaları da içermektedir. Özellikle KBRN olaylarında kullanılmak üzere tasarlanan sığınaklarda, toplu korunma

çadırlarında ve pozitif basınç sistemiyle temiz hava sağlayan askeri sistemlere kullanılmak üzere farklı tasarımlar gerçekleştirilebilir (Wood ve Chakraborty 2018).

Çalışma kapsamında standart filtrelerden farklı filtre tabakası üzerine çalışma yapılmıştır. Mevcut filtrelerde hava akışı gelişigüzel şekilde sağlanırken çalışmada elde edilen nanolif yapı ile daha homojen dağılım sergileyerek uzun ömürlü filtre hammaddesi tasarlanması amaçlanmıştır. Nanolif yapının istenen özelliklere sahip olduğu görülse de testlere tabi tutularak kesin sonuçlar elde edileceği bilinmektedir. Çalışma sonunda elde edilen filtre tabakası beklenen sonucu vermiş ve sonraki çalışmalarda kullanılmak üzere tecrübe edinilmiştir.

İlerleyen çalışmalarda farklı nanolif yapıları ile aktif karbon, metal organik kafes yapısı ve gelişen teknoloji ile çalışmaları yapılan diğer materyallerin çalışmaya entegre edilerek solunum testi ve koruyuculuk testine tabi tutulduğu çalışmalar planlanmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Biyokütle olan fındık kabuklarından aktif karbon üretiminde literatür araştırmasına paralel bulgular ile aktif karbon üretim süreci tamamlanmıştır. Kimyasal aktivasyon yönteminin seçildiği aktif karbon üretim süresince aktifleştirici maddelerin fındık kabuklarına etkisi; gaz çıkışı, renk değişimi ve hacimce artış gözle tespit edildi. Karbonizasyon safhasında fındık kabuklarından istenilen özelliklerde aktif karbon üretilmiştir.

Üretilen aktif karbonların analiz sonuçları literatür araştırmasıyla paralel olarak değerlendirilmiş ve üretim sürecinin başarıyla tamamlandığı incelenmiştir. BET analizi sonucunda yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon üretildiği raporlanmıştır. BET analizleri sonucunda yüksek verimlilikte sentezlenen aktif karbonlar gözenek çaplarının gözlenmesi amacıyla SEM analizine tabi tutularak yüzey alanı incelenmiştir. Yüzey alanında literatür bilgisiyle doğrulanan yapıların olduğu görülmüştür. Üretilen aktif karbonların analiz sonuçları ile elde edilen adsorpsiyon izotermi ile kimyasal absorpsiyon için uygun özellikler taşıdığını ortaya koymuştur.

Proje kapsamında aktif karbonların homojen yapı oluşturmaları amacıyla PVC ile elektro eğirme yöntemi uygulanarak nanolifler üretilmiştir. Parametrelerin değiştirilerek optimum şartların belirlendiği çalışma sonucunda istenilen yapıya sahip nanolif tabakalar elde edilmiştir.

Nanolif tabakalar SEM analizi yapılarak incelenmiştir. İstenilen yapıya ulaşan nanolif yapıların aktif karbon barındırdığı ve nefes alabilen yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Filtre için gerekli görülen özelliklere sahip olan nanolif yapının KBRN filtrelerinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir. İlerleyen çalışmalarda nanolif yapının kimyasal ajanları tutma kapasitesi, geçirgenlik testi ve filtre modellemeleri üzerine çalışma yapılmasının projeye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Proje kapsamında elde edilen bilgi ve tecrübe kapsamında, sonraki çalışmalarda tartışma kısmında belirtilen filtre ömrünün belirlenebileceği, filtrelenen havanın geçtiği hava yolunu arttıracak filtre tasarımının gerçekleşeceği, homojen dağılıma sahip filtre yapılarının tasarlanabileceği ve filtre kullanım ömrünün geliştirilmesi yönünde çalışmaların gerçekleştirilmesi üzerine projelerin desteklenmesi KBRN filtreleri hakkında önem taşımaktadır.

Sonuç olarak çalışma KBRN filtrelerinin homojenize yapı kazandırılarak daha uzun ömürlü, fiziksel ve kimyasal filtreleme yapabilecek ve süzme yolunun uzatılarak daha verimli hale getirilebileceği hakkında bilgi vermiştir. Polimer veya başka malzemeler ile aktif karbon karma şekilde kullanılarak filtrelerde kullanılabileceği, nanolif yapısıyla filtreleme kapasitesinin artırılabilceği, istenilen boyutlarda nanolif üretilerek filtreleme yapılabilceği ve farklı sistemlere entegre edilerek verimli şekilde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.



6. Kaynaklar

- Açıkyıldız M, Gürses A, Karaca S, 2014. Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 198, 45-9.
- Ahmadpour A, Do D, 1997. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. *Carbon*, 35, 12, 1723-32.
- Akgün F, Mikrokirleticilerle yüklenmiş aktif karbonun biyorejenerasyonu, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Altınışik M, Hansu Ta, Akdemir M, 2023. Süper Kapasitör uygulamaları için mikrodalga destekli biyokütle tabanlı elektrot malzemesi üretimi. *Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi*, 11, 1, 67-76.
- Aslan S, Kaplan S, 2010. Filtrasyon tekstilleri: kullanılan hammaddeler, üretim yöntemleri ve kullanım alanları. *Tekstil ve Mühendis*, 17, 79, 24-37.
- Beachley V, Wen X, 2009. Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length. *Materials Science and Engineering: C*, 29, 3, 663-8.
- Birbilen Y, Karakus K, Mengeloğlu F, 2022. Polivinil klorür (PVC)'ün geri dönüştürülmesi: PVC köpük üretimi ve karakterizasyonu. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9, Özel Sayı, 336-41.
- Black R, 2016. Development, historical use and properties of chemical warfare agents. In: *Chemical warfare toxicology, volume 1: fundamental aspects*. Eds: The Royal Society of Chemistry, p. 1-28.
- Braun D, 2002. Recycling of PVC. *Progress in polymer science*, 27, 10, 2171-95.
- Brinley FJ, 1927. Studies on the physiological effects of hydrogen cyanide. *The Biological Bulletin*, 53, 5, 365-89.
- Brown M, 2009. Military chemical warfare agent human subjects testing: part 1—history of six-decades of military experiments with chemical warfare agents. *Military medicine*, 174, 10, 1041-8.
- Bubanal S, Shivashankar M, 2017. History, method of production, structure and applications of activated carbon. *Int. J. Eng. Res*, 6, 06, 495-8.
- Bulman P, 2011. Minimizing the risks of hazardous materials: the CBRN standard. *NIJ Journal*, 267, 266-7.
- Cagnon Bt, Py X, Guillot A, Stoeckli F, 2003. The effect of the carbonization/activation procedure on the microporous texture of the subsequent chars and active carbons. *Microporous and Mesoporous Materials*, 57, 3, 273-82.
- Calder A, Bland S, 2018. CBRN considerations in a major incident. *Surgery (Oxford)*, 36, 8, 417-23.
- Ceremuga M, Pirszel J, Stela M, Czerwiński P, 2018. Decontamination of chemical agents. In: *CBRN. Security Manager Handbook*. Eds: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, p48-92.
- Chauhan S, D'cruz R, Faruqi S, Singh K, Varma S, Singh M, Karthik V, 2008. Chemical warfare agents. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26, 2, 113-22.
- Chemicals PoA, Toxicology Co, 1982. Possible long-term health effects of short-term exposure to chemical agents, National Academies, p.
- Çaykiran G, 2023. Biyolojik harp minvalinde korona virüs üzerine bir değerlendirme. *Journal of Anglo-Turkish Relations*, 4, 1, 13-36.
- Çetin Mş, Demirel As, Toprakçi O, Toprakçi Hak, 2022. The synergic effects of electrospinning solution properties on formation of polyvinyl chloride (PVC) fibers. *Tekstil ve Mühendis*, 29, 126, 42-9.
- Dagaut P, Glarborg P, Alzueta MU, 2008. The oxidation of hydrogen cyanide and related chemistry. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 1, 1-46.
- DC Dodw, 1997. Department of defense nuclear/biological/chemical (NBC) defense, Annual Report to Congress.
- Das R, Blanc PD, 1993. Chlorine gas exposure and the lung: a review. *Toxicology and industrial health*, 9, 3, 439-55.

- Deitzel JM, Kleinmeyer J, Harris D, Tan NB, 2001. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. *Polymer*, 42, 1, 261-72.
- Diller W, 1985. Pathogenesis of phosgene poisoning. *Toxicology and industrial health*, 1, 2, 7-15.
- Dobbin L, 1945. The history of the discovery of phosgene. *Annals of Science*, 5, 3, 270-87.
- Doğan M, 2011. Enerji kullanımının coğrafi çevre üzerindeki etkileri. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 23, 36-52.
- Dökmeci AH, Akduman Ö, 2022. Doğal olayların tetiklediği KBRN-p tehlikesi ve riski: Türkiye örneği.
- Dönmez AM, 2019. Acil tıp çalışanlarının (KBRN) kimyasal, biyolojik, radyolojik, nükleer kazalara karşı ilgi, bilgi ve tutum durumu araştırması.
- Dönmez İE, Selçuk S, Sargın S, Özdeveci H, 2016. Kestane, fındık ve antepfıstığı meyve kabuklarının kimyasal yapısı. *Turkish Journal of Forestry*, 17, 2, 174-7.
- Ebadi A, Soltan Mohammadzadeh JS, Khudiev A, 2009. What is the correct form of BET isotherm for modeling liquid phase adsorption? *Adsorption*, 15, 65-73.
- Ekşi A, 2016. KBRN terörizminde risk değerlendirmesi ve yönetimi. *Journal of International Social Research*, 9, 42.
- Emge DK, Crouse K, Languirand E, Ellzy MW, CBC D, 2022. Quantification of color-changing papers (M8) using industrial devices and methods.
- Erkekoğlu P, Koçer-Gümüşel B, 2018. Kimyasal savaş ajanları: tarihçeleri, toksisiteleri, saptanmaları ve hazırlıklı olma. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 38, 1, 24-38.
- Eser A, 2015. Maden işlerinde solunum koruyucu donanımlar. *Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 21-2.
- Feister AJ, 1991. Medical defense against mustard gas: toxic mechanisms and pharmacological implications.
- Fruilli M, 2022. The Challenge of Outlining the CBRN Definitional Framework. In: *International Law and Chemical, Biological, Radio-Nuclear (CBRN) Events*. Eds: Brill Nijhoff, p. 3-14.
- Gorzkowska-Sobas AA, Björge KM, 2015. Adsorption performance of activated carbon towards toxic industrial chemicals.
- Gorzkowska-Sobas AA, 2013. Chemical warfare agents and their interactions with solid surfaces.
- Gough J, 2001. The development of the Australian and New Zealand risk management standard and environmental guidelines. *Australian Journal of Environmental Management*, 8, 4, 203-10.
- Griebel G, Perrault G, Tan S, Schoemaker H, Sanger D, 1999. Comparison of the pharmacological properties of classical and novel BZ- ω receptor ligands. *Behavioural pharmacology*, 10, 5, 483-95.
- Grob D, Harvey A, 1953. The effects and treatment of nerve gas poisoning. *The American journal of medicine*, 14, 1, 52-63.
- Guide N, 2002. Guide for the selection of personal protective equipment for emergency first responders (respiratory protection).
- Gülensoy H, Şengil A, 1981. Aktif karbon ve üretimi.
- Güler Ç, Çobanoğlu Z, 1997. Plastikler. *Sağlık Projesi Genel Koordinatörlüğü*.
- Gündüz H, Öztürk F, Hamzaçebi S, Akpınar MD, 2018. Su ürünleri işleme atıklarının değerlendirilmesi. *Aquat Sci Eng*, 33, 1, 1-5.
- Haas R, 1998. Determination of chemical warfare agents: Gas Chromatographic analysis of chlorovinylarsines (Lewisite) and their metabolites by derivatization with thiols (2nd communication). *Environmental Science and Pollution Research*, 5, 2-3.
- Hameed B, Ahmad A, Latiff K, 2007. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust. *Dyes and pigments*, 75, 1, 143-9.
- Hay A, 1993. Effects on health of mustard gas. *Nature*, 366, 6454, 398-.
- Hobson ST, Richieri RA, Parseghian MH, 2021. Phosgene: toxicology, animal models, and medical countermeasures. *Toxicology mechanisms and methods*, 31, 4, 293-307.
- Hwang N, Barron AR, 2011. BET surface area analysis of nanoparticles. *The connexions project*, 1-11.

- Inanir M, Deste M, 2021. KBRN personel koruyucu elbise seçimi üzerine AHP ve VIKOR yöntemleriyle bir uygulama. *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, 4, 3, 207-21.
- Ioannidou O, Zabaniotou A, 2007. Agricultural residues as precursors for activated carbon production—A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 11, 9, 1966-2005.
- İstanbuluoğlu H, 2010. Koruyucu hekimlik açısından çok uluslu harekâtlarda sağlık hizmeti desteği. *Gülhane Tıp Dergisi*, 52, 4, 304-8.
- Ivanova K, Sandler T, 2007. CBRN attack perpetrators: An empirical study. *Foreign Policy Analysis*, 3, 4, 273-94.
- Jóźwik K, Ceremuga M, Tchórzewski A, 2018. Individual protection equipment. In: *CBRN. Security Manager Handbook*. Eds: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, p.
- Kanamori-Kataoka M, Seto Y, 2008. Laboratory identification of the nerve gas hydrolysis products alkyl methylphosphonic acids and methylphosphonic acid, by gas chromatography-mass spectrometry after tert-butyldimethylsilylation. *Journal of health science*, 54, 5, 513-23.
- Kandal SC, 2016. Zehirli gaz saldırılarına karşı halkın bilinçlendirilmesi ve eğitimdeki yansıması: gazdan korunma dersi (1931-1940). *Turkish History Education Journal*, 5, 2, 549-73.
- Karayılmazlar S, Saraçoğlu N, Çabuk Y, Rıfat K, 2011. Biyokütlenin Türkiye’de enerji üretiminde değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13, 19, 63-75.
- Khan AW, Sharma RK, Ali J, Ansari SH, Kotta S, 2013. Recent advances in decontamination of chemical warfare agents.
- Khan MKR, CBRN personal protective clothing.
- Khayan K, Anwar T, Wardoyo S, Lakshmi Puspita W, 2019. Active carbon respiratory masks as the adsorbent of toxic gases in ambient air. *Journal of toxicology*, 2019.
- Kindap T, Turuncoglu UU, Chen S-H, Unal A, Karaca M, 2009. Potential threats from a likely nuclear power plant accident: a climatological trajectory analysis and tracer study. *Water, air, and soil pollution*, 198, 393-405.
- Kitagawa S, 2014. Metal–organic frameworks (MOFs). *Chemical Society Reviews*, 43, 16, 5415-8.
- Koblentz GD, 2020. Emerging technologies and the future of CBRN terrorism. *The Washington Quarterly*, 43, 2, 177-96.
- Kovacic P, 2003. Mechanism of organophosphates (nerve gases and pesticides) and antidotes: electron transfer and oxidative stress. *Current medicinal chemistry*, 10, 24, 2705-9.
- Kul Ar, Benek V, Kaptanoğlu S, Alkan S, vedat A, 2019. *Pyrus communis* atığının üzerine sulu çözümlerdeki metilen mavisinin adsorpsiyon izoterm ve termodinamik çalışmaları. *Van Sağlık Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 24-7.
- Küçükgül Ey, 2004. Ticari aktif karbon üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6, 3, 41-56.
- Lazarus AA, Devereaux A, 2002. Potential agents of chemical warfare: Worst-case scenario protection and decontamination methods. *Postgraduate medicine*, 112, 5, 133-40.
- Liu L, Luo X-B, Ding L, Luo S-L, 2019. Application of nanotechnology in the removal of heavy metal from water. In: *Nanomaterials for the removal of pollutants and resource reutilization*. Eds: Elsevier, p. 83-147.
- Liu W, Wang X, Wu L, Chen M, Tu C, Luo Y, Christie P, 2012. Isolation, identification and characterization of *Bacillus amyloliquefaciens* BZ-6, a bacterial isolate for enhancing oil recovery from oily sludge. *Chemosphere*, 87, 10, 1105-10.
- Lizardo-Huerta J-C, Sirjean B, Verdier L, Fournet R, Glaude P-A, 2018. Thermal decomposition of Phosgene and Diphosgene. *The Journal of Physical Chemistry A*, 122, 1, 249-57.
- Lovins AB, Lovins LH, Ross L, 1979. Nuclear power and nuclear bombs. *Foreign Aff.*, 58, 1137.
- Lukey BJ, Romano Jr JA, Salem H, 2019. Chemical warfare agents: biomedical and psychological effects, medical countermeasures, and emergency response, CRC Press, p.
- Marsh H, Reinoso FR, 2006. Activated carbon, Elsevier, p.
- Michalski A, Kwiatek M, Mełgieś A, Joniec-Wiechetek J, Lasocki K, 2. Personal protective measures.

- Michalski A, Kwiatek M, Mełgieś A, Joniec-Wiechetek J, Lasocki K, 2018. Personal protective measures. In: CBRN. Security Manager Handbook;. Eds: Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, p.
- Miş N, Özdemir ÖB, 2013. Suriye 2013. Middle east yearbook/ortadoğu yıllığı.
- Morton AS, 2011. Unconventional weapons, siege warfare, and the hoplite ideal, The Ohio State University.
- Okudera H, Morita H, Iwashita T, Shibata T, Otagiri T, Kobayashi S, Yanagisawa N, 1997. Unexpected nerve gas exposure in the city of Matsumoto: report of rescue activity in the first sarin gas terrorism. The American journal of emergency medicine, 15, 5, 527-8.
- Oğur E, Cantürk N, 2022. Kimyasal, biyolojik, radyolojik ve nükleer risk algıları bağlamında kolluk imkan ve kabiliyetlerinin değerlendirilmesi: Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri kapsamında bir araştırma. Bulletin of Legal Medicine/Adli Tıp Bülteni, 27, 1.
- Özdemir Ç, Bozbıyık A, Hancı İH, 2001. Kimyasal silahlar: etkileri, korunma yolları. Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi (STED), 10, 298-300.
- Paraskeva P, Kalderis D, Diamadopoulos E, 2008. Production of activated carbon from agricultural by-products. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology, 83, 5, 581-92.
- Patitsa C, Chalaris M, 2016. Chemical incidents impact in the psychological risks of firefighters. An analysis of the findings for the stress factors in the personnel of hellenic fire corps. International Journal of Scientific and Engineering Research, 7, 9, 1761-4.
- Pesonen M, Vähäkangas K, 2020. Chloropicrin-induced toxicity in the respiratory system. Toxicology letters, 323, 10-8.
- Peters RA, Stocken LA, Thompson R, 1945. British anti-lewisite (BAL). Nature, 156, 3969, 616-9.
- Pierce PA, Peroutka SJ, 1990. Antagonist properties of d-LSD at 5-hydroxytryptamine₂ receptors. Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology, 3, 5-6, 503-8.
- Prahas D, Kartika Y, Indraswati N, Ismadji S, 2008. Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. Chemical Engineering Journal, 140, 1-3, 32-42.
- Prasad G, Singh B, Vijayaraghavan R, 2008. Respiratory protection against chemical and biological warfare agents. Defence Science Journal, 58, 5.
- Rall DP, Pechura CM, 1993. Veterans at risk: The health effects of mustard gas and lewisite.
- Rauk A, Shishkov I, Vilkov L, Koehler K, Kostyanovsky R, 1995. Determination of the structure and chiroptical properties of the parent nerve gas O-methyl methylphosphonofluoridate by ab initio calculations, electron diffraction analysis, and NMR spectroscopy. Journal of the American Chemical Society, 117, 27, 7180-5.
- Richardt A, Hülseweh B, Niemeyer B, Sabath F, 2012. CBRN protection: managing the threat of chemical, biological, radioactive and nuclear weapons, John Wiley & Sons, p.
- Richardt A, Sabath F, 2013. A glance back—myths and facts about CBRN incidents. CBRN Protection: Managing the Threat of Chemical, Biological, Radioactive and Nuclear Weapons, 1-38.
- Robinson JP, 2004. Public health response to biological and chemical weapons: WHO guidance, World Health Organization, p.
- Roffey R, Tegnell A, Elgh F, 2002. Biological warfare in a historical perspective. Clinical microbiology and infection, 8, 8, 450-4.
- Salem H, Ternay Jr AL, Smart JK, 2019. Brief history and use of chemical warfare agents in warfare and terrorism. In: Chemical warfare agents. Eds: CRC Press, p. 3-15.
- Salem H, Ternay Jr AL, Smart JK, 2019. Brief history and use of chemical warfare agents in warfare and terrorism. Chemical Warfare Agents, Chemistry, Pharmacology, Toxicology, and Therapeutics, 1-20.
- Salmon DA, Haber M, Gangarosa EJ, Phillips L, Smith NJ, Chen RT, 1999. Health consequences of religious and philosophical exemptions from immunization laws: individual and societal risk of measles. Jama, 282, 1, 47-53.

- Schoene K, Bruckert H-J, Jürling H, Steinhanses J, 1996. Derivatization of 10-chloro-5, 10-dihydrophenarsazine (adamsite) for gas chromatographic analysis. *Journal of Chromatography a*, 719, 2, 401-9.
- Schep LJ, Slaughter RJ, McBride DI, 2015. Riot control agents: the tear gases CN, CS and OC—a medical review. *BMJ Military Health*, 161, 2, 94-9.
- Schreiber JB, Nora A, Stage FK, Barlow EA, King J, 2006. Reporting structural equation modeling and confirmatory factor analysis results: A review. *The Journal of educational research*, 99, 6, 323-38.
- Simeonova L, 2015. Decontamination in the event of CBRN incident. *The Science For Population Protection*, 8, 2, 114-6.
- Simeonova L, Hylak C, 2015. Personal protective equipment (PPE) in CBRN incidents,“. *The Science For Population Protection*, 1, 1-10.
- Şahin D, 2023. Hidroterörizm: su kaynaklarına yönelik tehdit. *Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10, 29, 123-32.
- Şahin F, Cengiz S, 2021. KBRN olaylarında müdahil bazı kurum personellerinin konu hakkındaki bilgi, beceri, deneyim ve görüşlerinin derinlemesine mülakat tekniği ile ölçülmesi: Gümüşhane ve Erzurum ili örneği. *Global Journal of Economics and Business Studies*, 10, 20, 81-101.
- Tahmazoğlu S, Giray Es, Kömürde bulunan oksijenli fonksiyonel grupların temiz kömür hazırlanmasında etkilerinin araştırılması.
- Taylor GI, 1964. Disintegration of water drops in an electric field. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 280, 1382, 383-97.
- Taylor P, 2006. Anticholinesterase agents. *Goodman and Gilman's the pharmacological basis of therapeutics*, 11, 201-16.
- Titiz G, 2021. KBRN tehditleri yönetimine hastane öncesi acil sağlık hizmetleri açısından bir değerlendirme: SWOT analizi, İskenderun Teknik Üniversitesi/Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü
- Titow M, 2012. PVC technology, *Springer Science & Business Media*, p24-30.
- Tobi AR, Dennis J, Zaid H, Adekoya A, Yar A, Fahad U, 2019. Comparative analysis of physiochemical properties of physically activated carbon from palm bio-waste. *Journal of Materials Research and Technology*, 8, 5, 3688-95.
- Tong Y, Cai Y, Wang X, Li Z, Nevin A, Ma Q, 2021. Polychrome arhat figures dated from the Song Dynasty (960–1279 CE) at the Lingyan Temple, Changqing, Shandong, China. *Heritage Science*, 9, 1-21.
- Turaga U, Kendall R, Singh V, Lalagiri M, Ramkumar S, 2012. Advances in materials for chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) protective clothing. In: *Advances in Military Textiles and Personal Equipment*. Eds: Elsevier, p. 260-87.
- Ütük U, 2018. KBRN tehdit ve tehlikelerden kaynaklı zararlar nedeniyle idarenin tehlike (risk) ilkesine dayalı sorumluluğu. *Resilience*, 2, 1, 39-56.
- Vanderhoff J, Beyer R, Kotlar A, 1982. US Army armament research and development command ballistic research laboratory.
- Wazir AH, Haq Iu, Manan A, Khan A, 2022. Preparation and characterization of activated carbon from coal by chemical activation with KOH. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*, 42, 5, 1477-88.
- Wattana M, Bey T, 2009. Mustard gas or sulfur mustard: an old chemical agent as a new terrorist threat. *Prehospital and disaster medicine*, 24, 1, 19-29.
- Wendorff JH, Agarwal S, Greiner A, 2012. *Electrospinning: materials, processing, and applications*, John Wiley & Sons, p.
- Wolfsie JH, Shaffer CB, 1959. Hydrogen cyanide: Hazards, toxicology, prevention and management of poisoning. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 1, 5, 281-8.
- Wood SG, Chakraborty N. Transient performance of chemical, biological, radiological and nuclear filter canisters. *ASTFE Digital Library*.

- Yağmuroğlu O, 2020. Kimyasal silahlara yönelik olarak alınan önlemlerin Kimyasal Silahlar Sözleşmesi perspektifinde değerlendirilmesi. Afet ve Risk Dergisi, 3, 2, 125-42.
- Yang Y, Geil P, 1983. Morphology and properties of PVC/solvent gels. Journal of Macromolecular Science, Part B: Physics, 22, 3, 463-88.
- Yi B, Yan N, Yi N, Xie Y, Wen X, Au C-T, Lan D, 2019. Oxidative cyanation of N-aryltetrahydroisoquinoline induced by visible light for the synthesis of α -aminonitrile using potassium thiocyanate as a "CN" agent. RSC advances, 9, 51, 29721-5.
- Yunming Z, 1986. Ancient chinese sulfur manufacturing processes. Isis, 77, 3, 487-97.
- Zellner T, Eyer F, 2020. Choking agents and chlorine gas—history, pathophysiology, clinical effects and treatment. Toxicology letters, 320, 73-9.
- Zhi Y, Liu J, 2020. Analysis of chemical filter performance and activated carbon microstructure at low concentration. Building and Environment, 169, 106563.
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7305>
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/64505>
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/5372798>
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/#query=50782-69-9>
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/768>
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/10477>
- https://www.draeger.com/tr_tr/Safety/PPE/Protective-Clothing
- https://www.draeger.com/tr_tr/Products/CPS-6800
- <http://www.normltd.com/norbecbrn-kbrn-koruyucu-elbise-takimi/index.htm>

7. EKLER

7.1.Turnitin Raporu

KBRN FİLTRELERİ İÇİN AKTİF KARBON TABANLI POLİVİNİLKLOİR POLİMERLERİN ELEKTROEĞİRME YÖNTEMİ İLE ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

ORIGINALITY REPORT

6%

SIMILARITY INDEX

5%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

acikbilim.yok.gov.tr

Internet Source

1%

2

admin.inonu.edu.tr

Internet Source

<1%

3

gcris.pau.edu.tr

Internet Source

<1%

4

Kirbiyik, Cisem. "Susam sapi, Susam sapi Aktif karbonlari Ve farkli sicakliklarda Elde Edilen Bio-charlarinin atik Sulardan agir Metal Ve Pestisit Gideriminde degerlendirilmesi", Anadolu University (Turkey), 2021

Publication

<1%

5

www.aku.edu.tr

Internet Source

<1%

6

Submitted to Selçuk Üniversitesi

Student Paper

<1%

7

Submitted to Beykent Üniversitesi

Student Paper

<1%